



**«ЕЛЕМЕНТИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ»**

ЕПСЕТ-18



**ELEMENTS, DEVICES AND SYSTEMS
OF ELECTRONIC TECHNIQUE**

EDSET-18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ
ІМ. В. С. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЦЕНТР НАН БІЛОРУСІ З МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА
УНІВЕРСИТЕТ ПРИКЛАДНИХ НАУК (ЛИТВА)
РЕЗЕКНЕНСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ (ЛАТВІЯ)
ЦЕНТРАЛЬНО-ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (СЛОВАЧЧИНА)

**МАТЕРІАЛИ ПЕРШОЇ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ЕЛЕМЕНТИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ
(ЕПСЕТ-18)
ELEMENTS, DEVICES AND SYSTEMS
OF ELECTRONIC TECHNIQUE
(EDSET-2018)**

14 - 16 листопада 2018 р.

**Запоріжжя
ЗДІА
2018**

УДК 621.38

E 503

Співголови конференції

Кладько Василь Петрович – заступник директора інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, чл.-кор. НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор

Левінзон Давид Іделевич – Професор кафедри мікроелектронних інформаційних систем Запорізької державної інженерної академії, доктор технічних наук, професор

Організатори конференції

Міністерство освіти і науки України

Запорізька державна обласна адміністрація

Запорізька державна інженерна академія (Україна)

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

Науково-практичний центр НАН Білорусії з матеріалознавства

Університет прикладних наук (Литва)

Резекненська технологічна академія (Латвія)

Центрально-європейський університет (Словаччина)

E 503 Елементи, прилади та системи електронної техніки (ЕПСЕТ-18). Elements, devices and systems of electronic technique (EDSET-2018). Матеріали першої міжнародної науково-практичної конференції. / Запорізь. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018 - 128 с.

УДК 621.38

E 503

ISBN 978-617-685-053-3

© Колектив авторів, 2018

© Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2018

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Співголови

- Романюк Б.М. – завідувач відділу іонно-променевої інженерії інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор
- Хрипко С.Л. – завідувач кафедри мікроелектронних інформаційних систем Запорізької державної інженерної академії, доктор технічних наук, професор

члени комітету

- Бахрушин В. Є. - професор кафедри системного аналізу і обчислювальної математики Запорізького національного технічного університету, доктор фіз.-мат. наук, професор, академік «Академія наук вищої школи України»
- Бачеріков Ю. Ю. - провідний науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор
- Бунін С.Г. - провідний науковий співробітник науково-дослідного Інституту телекомунікацій, академік Академії зв'язку, Академії інженерних наук України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»
- Вербицький В.Г. - завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Запорізької державної інженерної академії, доктор технічних наук, професор
- Готра З.Ю. - завідувач кафедри електронних приладів Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Гременок В.Ф. - керівник лабораторії фізики твердого тіла Науково-практичного центру НАН Білорусі з матеріалознавства, доктор фіз.-мат. наук, професор
- Дейбук В.Г. - професор кафедри комп'ютерних систем і мереж Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, доктор фізико-математичних наук, професор
- Кідалов В.В. – професор, завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики Бердянського державного педагогічного університету, доктор фіз.-мат. наук, професор
- Критська Т.В. - завідувач кафедри електронних систем Запорізької державної інженерної академії, доктор технічних наук, професор
- Кукла О.Л. – завідувач відділом оптоелектронних функціональних перетворювачів Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, доктор фіз.-мат. наук, с.н.с.
- Маслов В.П. - керівник відділу фізико-технологічних основ сенсорного

- матеріалознавства Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, д. т. н., професор, заслужений винахідник України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки та Премії Кабінету Міністрів України
- Мельник В.П. - заступник директора з наукової роботи Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор
- Микитюк З.М. - заступник завідувача кафедри електронних приладів Національного університету «Львівська політехніка», д.ф.-м.н., професор
- Охрименко О.Б. – старший науковий співробітник Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, доктор фіз.-мат. наук., професор
- Прокопенко І.В. - завідувач лабораторією електронно-зондових методів структурного і елементного аналізу напівпровідникових матеріалів і систем Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, д. ф.-м. н., провідний науковий співробітник
- Поперенко Л.В. - завідувач кафедри оптики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор, академік «Академія наук вищої школи України»
- Стахіра П.Й. - професор кафедри електронних приладів Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н., професор
- Стронський О.В. - керівник відділу фізики оптоелектронних приладів Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, доктор фіз.-мат. наук
- Чугай О.М. - професор кафедри фізики Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського, д.т.н., професор
- Халатов А.А. - завідувач кафедри фізики енергетичних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», академік НАН України, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки
- Ямпольський Ю.М. - завідувач науково-дослідним відділом Радіоастрономічного інституту НАН України, професор, член-кореспондент НАН України, лауреат Державної премії України в області науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки України

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова комітету

Верьовкін Л.Л. - заступник завідувача кафедри мікроелектронних інформаційних систем Запорізької державної інженерної академії, кандидат технічних наук, професор

Відповідальний секретар

Ніконова З.А. - професор кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат технічних наук,
професор

члени комітету

Дмитрієв В.С. – завідувач навчально-наукової лабораторії оптоелектронних
інформаційних систем кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії

Кісельов Є.М. - доцент кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат технічних наук,
доцент

Коломоєць Г.Г. доцент кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат фізико-математичних
наук, доцент

Небеснюк О.Ю. - доцент кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат технічних наук,
доцент

Ніконова А.О. - доцент кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат технічних наук,
доцент

Посунько О.П. - завідувач лабораторіями кафедри мікроелектронних
інформаційних систем Запорізької державної інженерної академії

Світанько М.В. доцент кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат фізико-математичних
наук, доцент

Строїтелева Н.І. доцент кафедри мікроелектронних інформаційних систем
Запорізької державної інженерної академії, кандидат фізико-математичних
наук, доцент

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «НОВІ ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОМПОНЕНТИ МІКРО- І НАНОЕЛЕКТРОНІКИ».....	10
ВИРОБНИЦТВО ЕПІТАКСІЙНИХ ШАРІВ КРЕМНІЮ МЕТОДОМ ХІМІЧНОГО ОСАДЖЕННЯ З ПАРОВОЇ ФАЗИ	10
ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕЗОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ZnS:Mn, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВЧ.....	16
ВПЛИВ ПОСТ-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВІДПАЛУ НА СПЕКТРИ КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЯННЯ Cu_2ZnSnS_4 , ОТРИМАНОГО МЕТОДОМ СВЧ.....	18
ХАЛЬКОГЕНІДНІ СТЕКЛА ЛЕГОВАНІ ДРІБНОДИСПЕРСНИМ ZnS:Mn.....	19
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО Ge.....	21
ОТРИМАННЯ ПЛІВОК ZnO НА МАКРОПОРУВАТОМУ Si (100) МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ	23
ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ Si КВАНТОВИХ ТОЧОК AlAs/InAs У ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ AlAs/InAs/GaAs	25
THE USE OF RAPID THERMAL ANNEALING FOR THE FORMATION OF OXIDE FILMS IN THE STRUCTURE $Dy_2O_3/por-SiC/SiC$	27
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ $Cu_2ZnSnS_4 - Cu_2ZnSnSe_4$	29
СИНТЕЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМІЧНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНИХ МІКРОРЕЗОНАТОРІВ В РАДІОСПЕКТРОСКОПІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ	31
ПОГЛИНАЮЧА ЗДАТНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СИСТЕМИ $Zn_3P_2-Cd_3P_2$	33
SYNTHESIS OF NANOSCALE ZINC OXIDE	35
SYNTHESIS OF TIN OXIDE – ACTIVE CARBON NANOCOMPOSITES	36
ОПТИМІЗАЦІЯ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ НА КРЕМНІЄВИХ СТРУКТУРАХ.....	45
МІКРОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МОН-ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОЗАСЛОННОГО КОМБІНОВАНОГО ТРАНЗИСТОРА	48
GaN CLUSTERS OBTAINED BY THE METHOD OF RADICAL-BEAM EPITAXY ON POROUS GaAs.....	49
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА МЕТАЛЛ-ПОРИСТЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ	51
НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ.....	53
CONTROL AND IDENTIFICATION INTRINSIC AND EXTRINSIC DEFECTS IN NITROGEN DOPED P-TYPE ZnO THIN FILMS	54
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ И СЕЛЕНА НА КИНЕТИКУ ГИБЕЛИ ФОТОГЕНЕРИРОВАННЫХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$	56
SHORT-RANGE ORDER AND NANOPHASE SEPARATION IN As-S-Sb AND As-S-Se CHALCOGENIDE GLASSES	59

СЕКЦІЯ «ФОТОНІКА ТА ФОТОВОЛЬТАІКА».....	68
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ФОТОПРИЙМАЛЬНОГО КАНАЛУ ІМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЕКОМІРА.....	68
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ, ВИКОНАНИХ НА БАЗІ СТРУКТУРИ SnS/ZnS/FTO.....	70
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ТЕЛУРИДА КАДМІЮ.....	72
ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ НЕВПОРЯДКОВАНОГО КРЕМНІЮ.....	73
ГЕНЕРАТОР УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ІЗ ЖИВЛЕННЯМ НА СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ.....	74
БАЙССІВСЬКА МЕРЕЖА ДОВІРИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ.....	75
ДЖЕРЕЛО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ 200-220 НМ.....	77
ЛАЗЕРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ.....	78
ОСОБЛИВОСТІ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	78
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПАЙКИ СТРУМОПРОВІДНОЇ ШИНИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НЕЕВТЕКТИЧНИМ ПРИПОЄМ З ВІДСТЕЖЕННЯМ ПОЛОЖЕННЯ ГРАНИЦІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ.....	79
СЕКЦІЯ «ПРИЛАДИ Й ПРИСТРОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ».....	82
ПЕРЕВІРКА ТОЧНОСТІ ВІДХИЛЕННЯ КАНТИЛЕВЕРУ АТОМНО-СИЛОВОГО МІКРОСКОПУ В ПРОЦЕСІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ.....	82
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ЦЕНТРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО РОБОТА ESSEMTEC RANTERA XV.....	84
ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА НА КАЧЕСТВО КРЕМНИЕВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ.....	85
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПАЯЛЬНОЇ ПАСТИ У ЛІНІЇ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ.....	87
ДОСЛІДЖЕННЯ КОДЕРІВ ЦИФРОВИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ СКРЕМБЛЕРІВ.....	88
ДИСТАНЦІЙНИЙ МАНІПУЛЯТОР ІЗ РОЗПІЗНАВАННЯМ РУХІВ ОПЕРАТОРА.....	90
СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	91
ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД МОДЕЛЮВАННЯ ПРЛАДІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ НА ПЛАТФОРМІ АРДУІНО.....	93
МІКРОЕЛЕКТРОННА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЧНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ.....	95
МІКРОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ЗАХИСТУ БУДИНКУ.....	97
МІКРОЕЛЕКТРОННА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА АУСКУЛЬТАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ.....	97
МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ В ЕНЕРОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМАХ.....	98
МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЗАРЯДНИМ СТРУМОМ ДО 12 А.....	99

МІКРОЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ ДЛЯ ГЕЛЕОЕНЕРГЕТИКИ	100
РАДІОЧАСТОТНИЙ ІНДИКАТОР ШПИГУНСЬКИХ ПРИСТРОЇВ.....	101
МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ НА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КОМПОНЕНТАХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ	103
ПРИСТРІЙ НА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУРАХ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ВТРАТ ТЕПЛА	104
МОДЕЛЬ ОХОРОННОЇ СИСТЕМИ НА МІКРОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТАХ.....	105
МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ІМІТАЦІЇ ЗВУКІВ ПРИРОДИ	106
МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ	106
МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШУМУ НА НАНОСТРУКТУРАХ.....	107
МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПЕРЕВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ	108
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВТОРИННОЇ ЕНЕРГІЇ	109
СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АДРЕСНОГО БАЛАНСУВАННЯ ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	111
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЧИСТОТЫ.....	113
СЕКЦІЯ «СЕНСОРНІ СИСТЕМИ».....	114
ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІВКОВОГО НАГРІВАЧА В СЕНСОРІ НА ОСНОВІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ	114
DESIGN OF A MICROHEATER FOR GAS SENSORS.....	116
MAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASUREMENT SYSTEM SIMULATION.....	118
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПЛЕОПТИЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО АУТОТРЕНІНГУ	119
СКАНУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ НЕОХОЛОДЖУВАНИХ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМ.....	121
МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИЛАД КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	122
ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА АБСОЛЮТНОГО ЕНКОДЕРА.....	123
НАНОДИОД ШОТТКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР	125

СЕКЦІЯ «НОВІ ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОМПОНЕНТИ МІКРО- І НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»

УДК 537.31:621.38

ВИРОБНИЦТВО ЕПІТАКСІЙНИХ ШАРІВ КРЕМНІЮ МЕТОДОМ ХІМІЧНОГО ОСАДЖЕННЯ З ПАРОВОЇ ФАЗИ

Бахрушин В.Є.

ORCID 0000-0003-3771-5256, професор, д.ф.-м.н. Запорізький національний технічний університет, Vladimir.Bakhrushin@gmail.com

Анотація. Розглянуто сучасний стан технологій формування епітаксійних шарів кремнію. Незважаючи на активні дослідження альтернативних процесів, на сьогодні основною промисловою технологією залишається хімічне осадження з парової фази.

Ключові слова: кремній, епітаксія, технологія, структурні дефекти, фізичні властивості

Annotation: The present state of silicon CVD epitaxy is considered. Despite the active research of alternative processes CVD process remains today the main industrial technology of forming the epitaxial layers.

Key words: silicon, epitaxy, technology, structural defects, physical properties.

Завдяки поєднанню цінного комплексу фізичних і хімічних властивостей, а також поширеності у природі кремній ще довго залишатиметься основним матеріалом електронної техніки. Однією з ключових технологій створення приладів на основі кремнію є його епітаксійне осадження на підкладках, зазвичай виготовлених також з кремнію (автоепітаксія). Підкладки також можуть виготовлятися з інших матеріалів (гетероепітаксія), для яких можливо формування на них монокристалічних шарів кремнію з низькою густиною структурних дефектів і заданими електрофізичними чи іншими властивостями [1, 2]. Втім, як зазначається в [3], у промисловому виробництві за виключенням кремнію на сапфірі використовують лише автоепітаксійні композиції. Стандартний CVD процес передбачає осадження епітаксійного шару з паро-газової суміші водню, джерел кремнію і легувальних домішок на попередньо очищеній поверхні монокристалічної підкладки. Джерелами кремнію зазвичай є його хлорид, трихлорсилан, діхлорсилан або силан. Як джерела легувальних домішок найчастіше використовують хлориди або гідриди елементів, що утворюють донорні або акцепторні центри у кремнії.

До найбільш критичних питань, які мають бути вирішені при розвитку технології належать: забезпечення однорідності нагріву підкладки для запобігання їх деформації через внутрішні механічні напруження; проведення процесу в області дифузійного контролю та запобігання потраплянню до епітаксійного шару і підкладки неконтрольованих домішок. Забезпечення виконання цих вимог істотно підвищує собівартість готових епітаксійних композицій. Крім того, окремі вимоги є несумісними і потребують протилежних змін умов процесу. Тому часто шукають певні компромісні рішення. Зокрема, проведення процесу в області дифузійного контролю потребує підвищення температури і зниження концентрації джерела кремнію у паро-газовій суміші. Але перше веде до збільшення ризику утворення структурних та інших дефектів, а друге – до зменшення швидкості росту епітаксійного шару. Тому на практиці використовують умови, за яких при прийнятній швидкості росту частка епітаксійних композицій, які не задовольняють вимоги до якості, не перевищує певних заданих значень. Ці значення, як і вимоги до якості можуть коливатися в широких межах залежно від того, для яких приладів будуть використовувати епітаксійні композиції.

Протягом всього часу промислового застосування епітаксії відбуваються дослідження альтернативних технологій, спрямовані на підвищення структурної досконалості і відтворюваності характеристик епітаксійних шарів [1 – 3]. Зокрема, це стосується

проведення процесів за низького тиску, стимулювання хімічних реакцій плазмою та ультрафіолетовим випромінюванням, швидких термічних процесів, використання нетрадиційних джерел кремнію тощо (LPCVD, UHVCVD, PECVD, PICVD, RTCVD та ін.). До основних завдань цих досліджень належать зниження температури процесу, зменшення температурних градієнтів на пластинах та неконтрольованих забруднень. Останнім часом відбувається перехід від групової до індивідуальної обробки пластин, що пов'язано зі збільшенням їх діаметра. Також відомі технології молекулярно-променевої та рідкофазної епітаксії, які мають певні переваги перед хімічним осадженням з газової фази. Зокрема, молекулярно-променева епітаксія дає змогу істотно зменшити ширину перехідної області і через це отримувати надтонкі епітаксійні шари.

Тим не менш, на сьогодні провідні виробники для 45 – 130 нм технологій використовують переважно класичні методи хімічного осадження з парової фази. Їх перевагами є можливість прецизійного формування на пластинах діаметром 50 – 450 мм одного чи декількох однорідних за характеристиками епітаксійних шарів товщиною від декількох мікрометрів до понад 100 мкм з питомим електричним опором 0,05 – 1500 Ом·см (для внутрішніх шарів багат шарових композицій – до 5000 Ом·см) [2, 4, 5]. Також ці технології дають змогу формувати композиції із заданим профілем легування епітаксійного шару [2, 3, 6]. До основних проблем належать порівняно висока вартість, небезпечність реакторів та велика кількість джерел забруднення [1]. При формуванні n^+ - n композицій шляхом осадження слабколегованих шарів на сильнолегованих підкладках існує імовірність виникнення поблизу межі розділу прошарків з провідністю p -типу через дифузю фонових акцепторних домішок з об'єму або поверхні підкладки [7, 8]. Втім, для деяких типів приладів епітаксійне осадження залишається єдиною можливою технологією. Зокрема, це стосується випадків, коли потрібно сформувати слабколеговані шари на сильнолегованих підкладках. Згідно з даними [1, 5] епітаксію останнім часом використовують при виготовленні більшої частки кремнієвих приладів. При цьому найбільш важливим цей процес є в біполярних технологіях, при виготовленні DRAM and NAND Flash пам'яті, логічних пристроїв MPU та DSP та деяких інших приладів.

Слід зазначити, що поступове збільшення діаметра пластин змушує шукати нові рішення нібито вирішених раніше проблем забезпечення структурної досконалості і однорідності електрофізичних властивостей. Це зумовлено збільшенням за рівних інших умов температурних градієнтів та зумовлених ними механічних напружень, які посилюють дефектоутворення. Крім того, незважаючи на те, що процеси намагаються проводити в області дифузійного контролю, температурні градієнти вливають на швидкості хімічних реакцій і спричиняють неоднорідність товщини та питомого електричного опору епітаксійного шару [2].

Література:

1. Helmut Föll. Electronic Materials. https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/elmat_en/index.html.
2. Бахрушин В.Е. Получение и физические свойства слабелегированных слоев многослойных композиций. – Запорожье: ГУ "ЗИГМУ", 2001. – 247 с.
3. Martin L. Hammond. Silicon Epitaxy by Chemical Vapor Deposition. In Handbook of Thin Film Deposition (Ed. Seshan, K.), 3rd Edition. – Elsevier, 2012. – P. 45 – 150. https://booksite.elsevier.com/9781437778731/past_edition_chapters/Silicon_Epitaxy.pdf.
4. <https://www.svmi.com/silicon-wafers>
5. <http://www.shinetsu.co.jp/en/products/semicon.html>
6. Бахрушин В.Е., Булаев И.Ю., Галкин П.Н., Токарев В.П. Получение кремниевых эпитаксиальных структур с заданным профилем распределения примеси и многослойных структур. – Проблемы создания ПП и ИС, стойких к ВВФ. – М: ЦНТИ Поиск, 1991, ч.1, с. 126 – 131.

7. Бахрушин В.Е. Роль фоновых примесей подложки в формировании переходной области кремниевых эпитаксиальных структур. – Неорганические материалы, 1996. – Т. 32, N 6. – С. 650 – 652

8. Бахрушин В.С., Горбань А.Н., Цыганок Д.В. Влияние приповерхностного слоя подложки на формирование переходной области малолегированных эпитаксиальных слоев кремния. – Неорганические материалы, 1997. – Т. 33, N 10. – С. 1171 – 1173.

УДК 538.9-022.302

ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛЕВОГО СКЛА Ni Білошанка В. Я.¹, Піменов Д. О.², Шабодаж А. М.³.

¹Бердянський державний педагогічний університет, канд. фіз. - мат. н., доцент, belvj@ukr.net

²Бердянський державний педагогічний університет, старший лаборант, магістр doripenov@gmail.com

³Бердянський державний педагогічний університет, магістр lika30angelika@gmail.com

Анотація: У даній роботі вивчені температурні залежності констант пружності металевих скла Ni методами молекулярної динаміки (МД) та розраховані константи пружності у кристалічному стані і стані скла в інтервалі температур 0-700К.

Ключові слова: металеві стекла Ni, трансляційна симетрія, ізотропний стан, об'ємні металеві стекла ОМС

In this work the temperature dependences of the constants of the metal glass Ni are studied by the molecular dynamics (MD) methods and the elasticity constants in the crystalline state and the state of the glass in the temperature interval 0-700K are obtained.

Key words: metallic glasses Ni, translational symmetry, isotropic state, volumetric metal glasses (OMS).

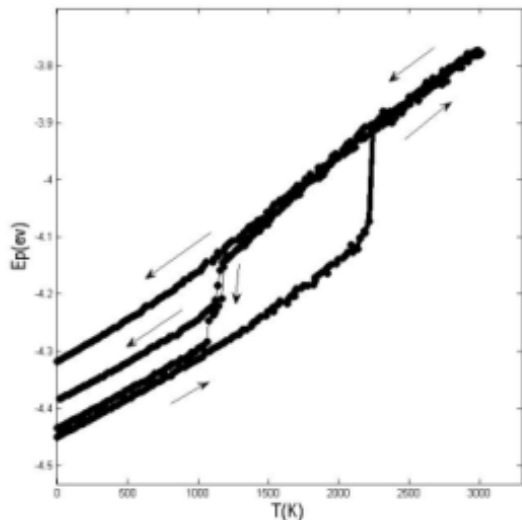
Актуальність теми. Перехід із рідини в скло є однією з складних проблем фізики конденсованого стану. Оскільки об'ємне металеве скло (ОМС) не має трансляційної симетрії, йому притаманний ізотропний стан структурних та пружних властивостей. Атомна структура ближнього порядку впливає на їх механічні та пружні властивості. У зв'язку з цим знання тензору модуля пружності та температурної залежності констант пружності необхідне для детального розуміння властивостей ОМС.

Метою цієї роботи є вивчити температурні залежності констант пружності металевих скла Ni методами молекулярної динаміки (МД) та розрахувати константи пружності у кристалічному стані і стані скла в інтервалі температур 0-700К.

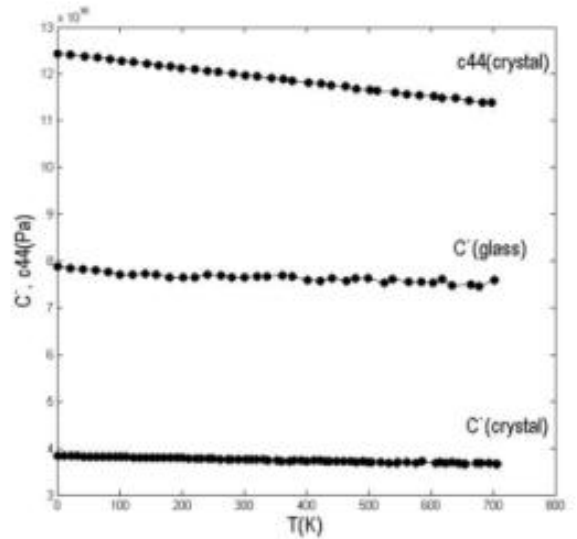
Методика експерименту. Для опису міжатомної взаємодії в процесі моделювання використовувався метод зануреного атома [1]. На систему, що містила 5324 атома, накладались періодичні граничні умови. Система знаходилась при постійному тиску $p = 1000 \text{ Па}$, яка забезпечувалась зміною загального об'єму. Часовий інтервал складав $2 \cdot 10^{-15}$ с. Для отримання ОМС кристал нагрівали до $T \gg T_{пл}$. Після цього кристал охолоджувався з швидкістю більшою ніж 10^{10} К/с . При швидкостях охолодження більших ніж 10^{13} К/с вплив швидкості охолодження на структуру був відсутній. На рис. 1 метастабільному стану скла відповідає ділянка на верхній кривій зворотного ходу в інтервалі температур 0-1000 К. Температура скловання при цьому знаходилась в діапазоні 1120 - 1150 К. Об'ємний модуль B (bulk modulus) та модуль зсуву (shear constant) C' розраховувались згідно наступних виразів

$$C' = \frac{a_0^2}{4V} \frac{\partial^2 E}{\partial a^2}; B = \frac{a_0^2}{9V} \frac{\partial^2 E}{\partial a^2}$$

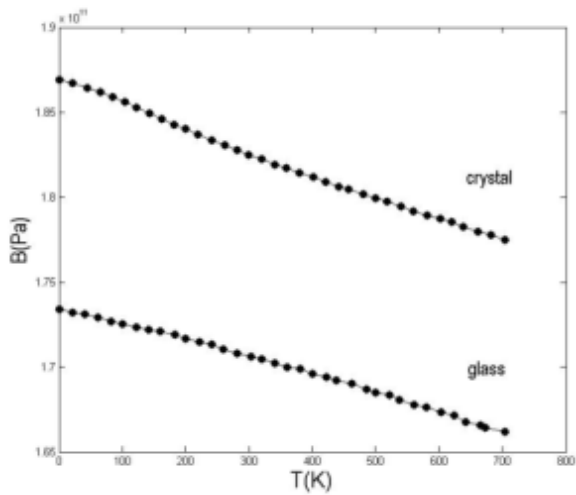
де a – середнє значення решіткової константи в деформованому стані, a_0 - значення у рівноважному стані. V та E – об'єм та енергія на атом



а)



в)



б)

Рисунок 1 – Температурні залежності: а) середньої потенційної енергії на атом при прямому (нагрівання) та зворотному (охолодження) ходах; б) об'ємних модулів; в) сталих пружності C' і c_{44} у кристалічному та аморфному стані

При розрахунку B створювалась деформація усестороннього стиснення. Для розрахунку C' стиснення створювалось уздовж напрямку 100 (вісь X), а розтягнення - вздовж напрямку 010 (вісь Y) зі збереженням об'єму. Значення c_{44} для кристалу розраховувалось також як і для C' , однак тепер напрям 110 ГЦК решітки співпадав з напрямом осі X , а 1-10 – з віссю Y .

Результати та обговорення. Температурні залежності пружних модулів скла та кристала, які зображені на рис. 2 близькі до лінійних. Значення B у склі на 6-7% менше ніж у кристалі. Значення C' і c_{44} у аморфному стані не відрізняються, що свідчить про ізотропну структуру скла. Обчислення пружних сталих виконано у інтервалі температур, при яких пластична деформація була відсутня. Значення сталих пружності c_{11} та c_{12} отримувалися з системи рівнянь:

$$\begin{cases} B = \frac{(c_{11} + 2c_{12})}{3} \\ C' = \frac{(c_{11} - c_{12})}{2} \end{cases}$$

Отримані $c_{11}(T)$, $c_{12}(T)$ для металевого скла дозволяють обчислити температурні залежності таких важливих характеристик матеріалу як: модуль Юнга, коефіцієнт Пуасона, параметр Грюнайзена, температура Дебая.

Література:

1. M. S. Daw and M. I. Baskes, Phys. Rev. Lett., 50: 1285 (1983).

УДК 535.37, 539.219.3

НАНОКЛАСТЕРИЗАЦИЯ Mn В ZnS:Mn,Mg, ПОЛУЧЕННОМ МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

Бачериков Ю.Ю.¹, Ворона И.П.², Охрименко О.Б.³,

Жук А.Г.⁴, Куричка Р.В.⁵, Кидалов В.В.⁶

¹ведущий научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. yuyu@isp.kiev.ua

²ведущий научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. ip_vorona@yahoo.com

³ведущий научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина olga@isp.kiev.ua

⁴научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. jook.anton@gmail.com

⁵аспирант, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. romanvk0207@gmail.com

⁶зав. кафедры, Бердянский Государственный Педагогический Университет, Шмидта 4, Бердянск, 71100, Украина. kidalovv.v@gmail.com

Анотація: В работе исследовался ZnS:Mn,Mg, полученный методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) при одновременном введении примесей Mn и Mg. Исследования проводили методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, фотолюминесценции, сканирующей электронной микроскопии, электронного парамагнитного резонанса. Рассмотрено влияние последующей термообработки на свойства ZnS:Mn,Mg. Показано, что при одновременном введении примесей Mn и Mg в процессе СВС в ZnS часть марганца кластеризуется в виде отдельной фазы в получаемом материале. В тоже время, в синтезированном ZnS:Mn,Mg - СВС формируется большое количество центров самоактивированной (СА)-люминесценции, обусловленных механическими напряжениями и деформацией решётки. Дополнительный отжиг материала приводит к более равномерному распределению Mn в полученном люминофоре (ZnS:Mn,Mg-СВС), что сопровождается разгоранием «марганцевой» полосы фотолюминесценции (ФЛ) и гашением полосы СА-ФЛ.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, ZnS:Mn,Mg, фотолюминесценция, сканирующая электронная микроскопия, электронный парамагнитный резонанс, термообработка.

Annotation: Mn and Mg co-doped ZnS prepared by self-propagating high-temperature synthesis was studied by local energy-dispersive X-ray spectroscopy, photoluminescence, scanning electron microscopy and electron paramagnetic resonance. The effect of following heat treatment on the properties of ZnS:Mn,Mg is considered. A part of manganese is found to clusterized as a separate phase in the as-synthesized material when Mn and Mg impurities are simultaneously introduced in the SHS process. At the same time, in the synthesized ZnS: Mn, Mg-SHS, a large number of centers of self-activated luminescence are formed, due to mechanical stresses and deformation of the lattice. Additional annealing is found to lead to a more uniform Mn distribution in ZnS:Mn,Mg which is accompanied by an enhancement of the Mn-related photoluminescence band and quenching of the SA emission.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, ZnS:Mn,Mg, photoluminescence, scanning electron microscopy, electron paramagnetic resonance, heat treatment.

Всё больший интерес сегодня вызывают композиционные наноструктуры, состоящие из наночастиц металла, размещенных в матрице полупроводника или диэлектрика. Появление материала с высокой концентрацией магнитных ионов вызывающих ферромагнитный порядок чрезвычайно расширит его функциональные возможности и его востребованность в микроэлектронике и спинтронике. Для получения таких материалов, со сложной внутренней структурой, необходимо проводить апробацию, появившихся в последнее время, новых методов получения материалов, таких как самораспространяющейся высокотемпературный синтез (СВС). Среди полупроводниковых материалов, которые можно использовать в качестве матрицы для создания композитных наноструктур, важное место занимает сульфид цинка. Это обусловлено рядом его отличительных свойств, таких как большая ширина запрещенной зоны, высокая его эффективность как фотопроводника, а также высокоэффективного люминофора. В качестве реагента, способствующего появлению металлических кластеров в сульфиде цинка, может быть использован Mg или его соли для активизации процессов десульфурации.

Целью данной работы было выяснить возможность получения кластеров Mn в матрице ZnS в одном технологическом цикле методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, влияние на данные кластеры последующей термической обработки материала и исследование его люминесцентных и парамагнитных свойств до и после отжига.

Исследование синтезированных и отожженных порошков ZnS:Mn,Mg методом электронной микроскопии показало, что они состоят из частиц с широким распределением по размеру; основная часть частиц имеет размер, лежащий в пределах ~1-10 мкм. Согласно измерениям EDS, элементный состав синтезированного ZnS:Mn,Mg близок к стехиометрическому. После отжига соотношение компонентов изменяется в пользу металлов из-за испарения легколетучих компонент.

Спектр ФЛ ZnS:Mn,Mg до отжига состоит из двух полос с $\lambda_{\max} \sim 460$ и 590 нм, а полоса с $\lambda_{\max} \sim 460$ является доминирующей. Полоса СА в области ~ 430÷500 нм представляет собой суперпозицию нескольких линий. Полоса с $\lambda_{\max} \sim 590$ нм характерна для ZnS, легированного Mn. Присутствие Mg в ZnS не отразилось на спектральных характеристиках ФЛ. Возможно, это свидетельствует о том, что Mg не создает излучательных центров в ZnS, а выполняет роль только соактиватора. Способность Mg замещать менее реакционноспособные металлы в соединениях с серой могут привести к затруднённому введению Mn в решетку ZnS и способствовать выпадению его в виде металлической фазы, т.е. образованию металлических кластеров. Это косвенно подтверждает низкая интенсивность полосы ФЛ с $\lambda_{\max} \sim 590$ нм, а также данные ЭПР. Термический отжиг, способствует более равномерному распределению легирующих примесей в решетке ZnS:Mn,Mg, что приводит к значительному перераспределению полос ФЛ. После отжига полоса с максимумом до ~590 нм становится доминирующей в спектрах ФЛ. Эта полоса соответствует излучательному переходу в ионе Mn. В то же время интенсивность СА полосы уменьшилась в 15 раз относительно марганцевой полосы.

Спектр ЭПР порошка ZnS:Mn,Mg до отжига представляет собой типичный спектр ЭПР ионов Mn^{2+} в порошках ZnS:Mn. Наличие нескольких сигналов ЭПР показывает неравномерное распределение марганца в синтезированном материале. Часть ионов марганца замещают ионы цинка в катионной подрешетке сульфида цинка, в тоже время как большинство ионов марганца связаны сильным обменным взаимодействием и образуют суперпарамагнитные кластеры. Спектр ЭПР отожженного порошка представляет собой один сигнал, состоящий из шести линий с одинаковой интенсивностью. Очевидно, что он вызван ионами Mn^{2+}_{Zn} , но из-за уширения линий, вызванных диполь-дипольным взаимодействием ионов Mn^{2+} , сложно точно определить в каком типе замещений (кубических или гексагональных) находится ион марганца. Появление данного уширения указывает на увеличение количества ионов Mn_{Zn} .

Отжиг приводит к равномерному распределению марганца в материале за счет диффузии ионов Mn^{2+} из областей с их высокой локальной концентрацией и внедрения марганца в катионные узлы решетки ZnS (увеличение интенсивности и ширина линии соответствующего сигнала ЭПР).

УДК 535.37, 539.219.3

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕЗОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ZnS:Mn, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС.

Бачериков Ю.Ю.¹, Литвин П.М.², Охрименко О.Б.³, Жук А.Г.⁴, Куричка Р.В.⁵,
Дорошкевич А.С.⁶

¹ведущий научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. yuyu@isp.kiev.ua

²старший научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. plyt2007@gmail.com

³ведущий научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. olga@isp.kiev.ua

⁴научный сотрудник, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. jook.anton@gmail.com

⁵аспирант, Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины, проспект Науки, 45, Киев, 03028, Украина. romanvk0207@gmail.com

⁶научный сотрудник, Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины, проспект Науки, 46, Киев, 03680, Украина. nelya_dor@mail.ru

Аннотация: Исследована зависимость величины поверхностного потенциала от размера частиц микро- и мезо- фракций порошкообразного ZnS:Mn, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Показано хорошее согласование модельных представлений об изменении величины поверхностного потенциала частицы при изменении её размера вследствие перекрытия областей пространственного заряда от противоположных поверхностей в диапазоне $\sim 1 \leq R/L_{eff} \leq \sim 2.2$ с экспериментальными данными, полученными методом силовой Кельвин-зонд микроскопии. Оценена величина L_{eff} для частиц ZnS:Mn с размерами ~ 30 нм.

Ключевые слова: ZnS:Mn, размер частиц, Силовая Кельвин-зонд микроскопия, эффективная длина экранирования, поверхностный потенциал.

Annotation: The dependence of surface potential value on the particle size of micro- and meso-fractions for powdered ZnS:Mn obtained using self-propagating high-temperature synthesis has been investigated. Rather good agreement of model representations for the change in the value of surface potential for the particle with its size changed due to overlapping the space charge regions from opposite surfaces with in the range $\sim 1 \leq R/L_{eff} \leq \sim 2.2$ (R – particle radius, L_{eff} – screening length) with experimental data obtained using the method of Kelvin probe microscopy has been shown. The value of L_{eff} for ZnS:Mn particles is estimated as approximately ~ 30 nm.

Keywords: ZnS:Mn, particles size, Kelvin probe force microscopy, effective screening length, surface potential

Конкуренция между нано, мезо и объёмными материалами практически не касается материалов, которые представляют собой наноструктурированные композиты. Диапазон свойств этих композитов намного шире, чем общая сумма свойств элементов, их составляющих. Возможность комбинирования материалов, попадающих в разные размерные диапазоны открывает более широкие возможности для их использования и позволяет в достаточно широких пределах варьировать свойства получаемых наноструктурированных сред. Однако, в силу большого разнообразия низкоразмерных материалов, выступающих в качестве компонент таких сред, некоторые из их свойств оказываются не востребуемыми

из-за отсутствия полного объёма данных, подтверждающих новые свойства или явления, проявляющееся в них.

На сегодняшний день существуют хорошо опробованные методы исследования свойств поверхности. В частности, это исследование распределения поверхностного потенциала и электрических полей, основанные на использовании сканирующей силовой Кельвин-зонд и туннельной микроскопии. Использование таких методов дает возможность определять электрофизические параметры микро- и наноструктур как по площади сканирования, так и по глубине электрически активных областей. Особенностью силовой Кельвин-зонд микроскопии (СКЗМ) является возможность прямой регистрации трехмерной морфологии поверхности объекта с одновременной записью контактной разницы потенциалов (КРП) между зондом и каждой точкой поверхности.

Целью данной работы является исследование зависимости величины поверхностного потенциала частиц от их размера, который попадает в интервал от десятков микрон до единиц нанометров, для дисперсного ZnS:Mn, полученного методом СВС.

Геометрический размер частиц и их поверхностный потенциал определялся с помощью частотно-модулированной силовой Кельвин-зонд микроскопии (СКЗМ). Пространственное разрешение метода СКЗМ, составляет порядка 10 нм при чувствительности на уровне 0,1 мВ.

Из сравнения профилей высоты и КРП следует, что наночастицам (НЧ) с вертикальным размером 3-5 нм соответствует падение КРП 100-300 мВ. При вертикальном размере в несколько нанометров, размер частиц в горизонтальной плоскости варьируется в пределах 25-70 нм. При этом 50% частиц с наибольшей вероятностью имеют размер в пределах 40-53 нм. Соответствующий им КРП находится в пределах 103-185 мВ. Для частиц ZnS:Mn микронных размеров характерное значение КРП составляло около 400 мВ при измерениях нейтральным СКЗМ зондом. При этом по их периметру проявляется область (гало) с инверсией КРП на величину до 200 мВ относительно пленки золота.

В диапазоне размеров НЧ 30-70 нм двукратное увеличение размера частиц приводит к трехкратному увеличению КРП. В случае наличия на зонде дополнительного потенциала, КРП между НЧ и подложкой золота увеличивается, что приводит к смещению зависимости КРП от размера частиц на величину около на 100 мВ.

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с данными и моделью приведенными в работе [1]. Для сравнения полученных экспериментальных данных и предложенной в [1] модели значения КРП были приведены к безразмерному виду, как это сделано в [1]. Было найдено отношение КРП для частиц микронных размеров, т.е. поверхностного потенциала объёмного материала (~ 400 мВ), к КРП частиц мезо размеров. При этом рассматривалась не величина геометрического размера частиц, а отношение их размера к эффективной длине экранирования L_{eff} в материале. Такая процедура позволила не только сравнить полученные экспериментально и теоретически в работе [1] зависимости, но и определить значение L_{eff} в исследуемом ZnS:Mn. Величина L_{eff} исследуемого ZnS:Mn была оценена как ~ 30 нм. Таким образом, основная масса частиц размеры которых определены по карте рельефа поверхности, попадает в интервал размеров $\sim 1 \leq R/L_{eff} \leq \sim 2.2$, что приводит к уменьшению расстояния между E_F и E_V на ~ 300 меВ относительно объёмного материала для частиц ZnS:Mn с размерами порядка 30÷40 нм.

Таким образом, представленные результаты показывают хорошее согласование модельных представлений об изменении величины поверхностного потенциала частицы при изменении её размера в диапазоне $\sim 1 \leq R/L_{eff} \leq \sim 2.2$ вследствие перекрытия ОПЗ от противоположных поверхностей с экспериментальными данными, полученными методом СКЗМ. Установлено, что изменение положения E_F для частиц ZnS:Mn с размерами порядка 30÷40 нм может достигать ~ 300 меВ относительно его положения в объёмном материале. Кроме того, приведенные данные показывают возможность определения значения L_{eff} в исследуемом материале на основе результатов, полученных методом СКЗМ.

Література:

1. Yu.Yu. Bacherikov, A.V. Gilchuk, A.G. Zhuk, R.V. Kurichka, O.B. Okhrimenko, S.E.

Zelensky, S.A. Kravchenko, "Nonmonotonic behavior of luminescence characteristics of fine-dispersed self-propagating high-temperature synthesized ZnS:Mn depending on size of its particles", J. Lumin. 194, 8–14 (2018).

УДК 535.37, 539.219.3

**ВПЛИВ ПОСТ-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВІДПАЛУ НА СПЕКТРИ
КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЯННЯ $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, ОТРИМАНОГО МЕТОДОМ СВС.**

**Бачеріков Ю.Ю.¹, Охріменко О.Б.², Кідалов В.В.³, Дорошкевич Н.В.⁴, Жук А.Г.⁵,
Дяденчук А.Ф.⁶**

¹провідний науковий співробітник, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 45, Київ, 03028, Україна. yuyu@isp.kiev.ua

²провідний науковий співробітник, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 45, Київ, 03028, Україна. olga@isp.kiev.ua

³зав. кафедри, Бердянський Державний Педагогічний Університет, Шмідта 4, Бердянськ, 71100, Україна. kidalovv.v@gmail.com

⁴молодший науковий співробітник, Лабораторія Нейтронної Фізики ім. І.М. Франка, Об'єднаний Інститут Ядерних Досліджень, вул. Жоліо-Кюрі, 6, Дубна, РФ. nelyavik@gmail.com

⁵науковий співробітник, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 45, Київ, 03028, Україна. jook.anton@gmail.com

⁶старший викладач, Бердянський Державний Педагогічний Університет, Шмідта 4, Бердянськ, 71100, Україна. Dyadenchukalena@gmail.com

Анотація: В роботі досліджено можливість отримання четверних сполук $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ із структурою кестериту методом високотемпературного синтезу що самопоширюється. З даних Раманівського розсіювання світла встановлено, що синтезований матеріал має велику кількість вторинних фаз. Наступний відпал отриманих сполук призводить до значного покращення структурних характеристик $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. При цьому спостерігається збільшення інтенсивності піку від структури кестерит та зменшення піків від вторинних фаз.

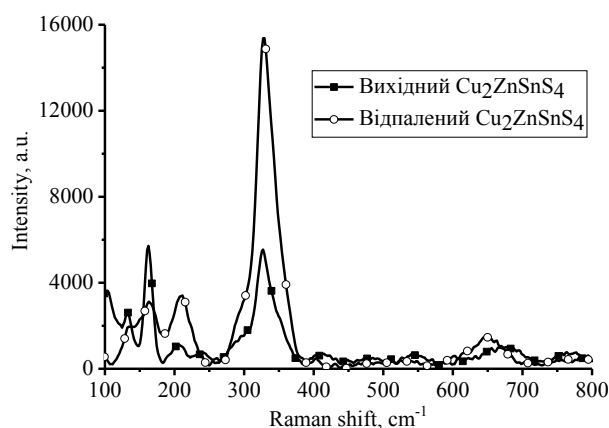
Ключові слова: $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, високотемпературний синтез що самопоширюється, Раманівське розсіювання світла, структура кестериту.

Annotation: The possibility of obtaining of the quaternary compounds of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ with the structure of kesterite by the method of self-propagating high-temperature synthesis is explored. From the Raman scattering data, it has been found that the synthesized material has a large number of secondary phases. The subsequent annealing of the resulting compounds leads to a significant improvement in the structural characteristics of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. At the same time there is an increase of the intensity of the peak from the structure of the kesterite and the reduction of peaks from the secondary phases is observed.

Keywords: $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, self-propagating high-temperature synthesis, combination scattering of light, kesterite structure.

На даний момент сонячна енергетика базується на сонячних елементах (СЕ) серед яких можна виділити кілька основних груп: кремнієві СЕ (мультикристали Si, монокристали Si, плівки аморфного α - Si і стрічки Si), які становлять більше ніж 90% СЕ; і некремнієві СЕ (тонкі плівки CuInSe_2 , CdTe , GaAs/Ge , $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ і т.д.). Виявилось, що процес виробництва структур на основі кремнію технологічно складний і дорогий. Крім того, деякі тонкі плівки СЕ вже сьогодні демонструють досить високий ККД, а загальні витрати на виробництво матеріалів припускають можливе здешевлення СЕ. На основі непогано дослідженої четверної сполуки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ за останні 15 років створені СЕ з ефективністю від 0,66% до 12,6%. При цьому має місце тенденція до щорічного збільшення ефективності при використанні плівок на їх основі.

В роботі досліджувалися порошки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, які отримані методом високотемпературного синтезу що самопоширюється (СВС). Вимірювання Раманівських спектрів проводились на спектрометрі ДФС-52 з удосконаленою мікрораманівською приставкою і ПЗС детектором для реєстрації спектрів. Для збудження раманівських спектрів використовувалося випромінювання твердотілого лазера з довжиною хвилі 457 нм і потужність 30 мВт.



Спектри КРС вихідного та відпаленого $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$.

На рисунку наведено спектри КРС вихідного та відпаленого $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, отриманого методом СВС. Як видно з рисунку, частотне положення найбільш інтенсивної смуги з частотою 335 cm^{-1} відповідає коливання А-моди структури кестериту. Смуга з частотою 285 cm^{-1} , яка також відноситься до коливань А-моди $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, на спектрі спостерігається менш виражено. Поряд із піком, який відповідає структурі кестериту, у зразках також спостерігаються смуги, які відповідають наявності вторинних фаз.

В той же час, для відпаленого порошку в спектрі КРС спостерігається інтенсивна смуга 335 cm^{-1} , яка є характерною для коливання А-моди структури кестериту. Висока інтенсивність цієї смуги і її мала напівширина ($\sim 7\text{ cm}^{-1}$) свідчать про високу якість отриманого за допомогою відпалу кестериту. Додатковим свідченням досконалості отриманої структури є присутність в спектрі КРС смуг в області $600\text{--}700\text{ cm}^{-1}$, які відповідають другій гармоніці А-моди кестериту.

Таким чином було показано, що метод СВС є перспективним і дешевим методом для отримання четверних сполук $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ зі структурою кестерит. За одну стадію синтезу можна отримати кінцевий продукт, а подальша термічна обробка $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ тільки покращує якість синтезованого матеріалу.

УДК 535.37, 539.219.3

ХАЛЬКОГЕНІДНІ СТЕКЛА ЛЕГОВАНІ ДРІБНОДИСПЕРСНИМ ZnS:Mn
Кідалов В.В.¹, Дяденчук А.Ф.², Криськов Ц.А.³, Оптасюк С.В.⁴, Бачеріков Ю.Ю.⁵,
Охріменко О.Б.⁶, Жук А.Г.⁷,

¹завідувач кафедри фізики та методики навчання фізики, Бердянський державний педагогічний університет, вул. Шмідта 4, Бердянськ, 71100, Україна. kidalovv.v@gmail.com

²старший викладач, Бердянський державний педагогічний університет, вул. Шмідта 4, Бердянськ, 71100, Україна. dyadenchukalena@gmail.com

³завідувач кафедри фізики Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл, 32300. fizkaf@ua.fm

⁴доцент кафедри фізики, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл, 32300. optasyuk@gmail.com

⁵провідний науковий співробітник, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 45, Київ, 03028, Україна. yuyu@isp.kiev.ua

⁶провідний науковий співробітник, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 45, Київ, 03028, Україна. olga@isp.kiev.ua

⁷науковий співробітник, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 45, Київ, 03028, Україна. jook.anton@gmail.com

Анотація: В роботі проведенні дослідження халькогенідних стекол As-S, легованих дрібнодисперсним ZnS:Mn. Частинки сульфиду цинку вводились в халькогенідне скло двома способами: в процесі синтезу, і введенням частинок в розплав скла. Фотолюмінесцентні дослідження показали, що в склі, легваному в процесі синтезу, спостерігаються дві смуги фотолюмінесценції (ФЛ), які обумовлені самоактивованою ФЛ і випромінюванням марганцю в ZnS. У випадку введення частинок ZnS:Mn в розплав скла, спостерігається тільки смуга ФЛ, яка обумовлена самоактивованим (СА) випромінюванням в ZnS, що свідчить про більш рівномірне легування скла.

Ключові слова: халькогенідні стекла, As-S, ZnS:Mn, самопоширюваний високотемпературний синтез, фотолюмінесценція.

Annotation: Investigations of the As-S chalcogenide glasses, doped with fine dispersed ZnS:Mn, have been carried out. Particles of zinc sulfide were introduced into chalcogenide glass in two ways: before the synthesis, and by the introduction of particles into the stela melt. Photoluminescent studies have shown that in the glass doped in the process of synthesis two photoluminescence bands (PL) are observed due to self-activated PL and the emission of manganese into ZnS. In the case of the introduction of ZnS: Mn into the glass melt, only the PL band due to self-activated (CA) radiation in ZnS is observed, which indicates a more even doping of the glass.

Keywords: chalcogenide glasses, As-S, ZnS: Mn, self-propagating high-temperature synthesis, photoluminescence.

Халькогенідні стекла, як матеріали для ПЧ-оптики відомі більш як 50 років. Найбільш характерними представниками даного класу оптичних матеріалів є склоподібні халькогеніди миш'яку. Ці стекла володіють широкою областю прозорості, малими оптичними втратами в середньому ПЧ-діапазоні, стійкістю до атмосферної вологи, високою нелінійністю оптичних характеристик та іншими привабливими властивостями. Можливість змінювати макросклад стекол в достатньо широких межах та за рахунок цього керувати їх властивостями сприяє їхньому використанню в оптоволоконних та оптоелектронних приладах різноманітного призначення.

Однією з існуючих проблем в технології халькогенідних стекол залишається отримання зразків з контрольованим вмістом домішкових гетерогенних частинок. На даний час утворення в процесі синтезу гетерогенних включень розміром 0,05-1 мкм в зразках сульфідноміш'якового скла знаходиться на рівні $\leq 2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$.

В даній роботі були дослідженні три типи халькогенідних стекол системи As-S отримані при плавленні шихти з миш'яку та сірки в запаяному вакуумованому контейнері з кварцового скла з наступним затвердінням розплаву в скло. Перший тип – вихідне скло, другий – халькогенідне скло с частинками ZnS:Mn (~0,5-1 мкм) які вводились в шихту до початку синтезу і третій – з частинками ZnS:Mn, що вводились в розплав синтезованого скла.

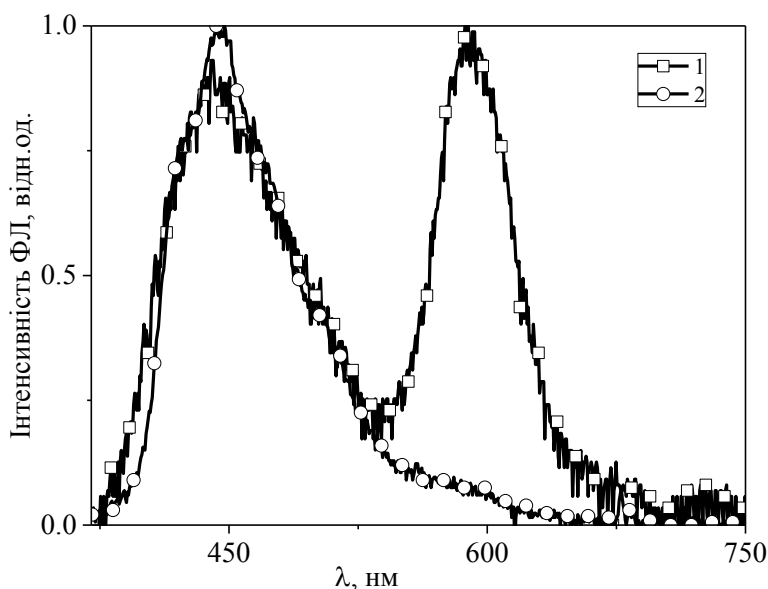


Рис.1. Спектри ФЛ хлькогенідних стекл.
Крива 1 – скло леговане в процесі синтезу, крива 2 – леговане в процесі розплаву.

Спектри ФЛ легованих стекл наведенні на рис.1. Випромінювання в вихідних стеклах (нелегованих) в видимій області не спостерігалось. В склі, що леговане в процесі синтезу спостерігаються дві смуги ФЛ (рис.1, крива 1), що відповідають за самоактивовану ФЛ та домішкову ФЛ, обумовлену іонами Mn. Перша смуга ФЛ з $\lambda_{\max} \sim 445$ нм є складною та складається з набору смуг з $\lambda_{\max} \sim 395, 404, 435$ і 515 нм. Друга смуга ФЛ характерна для випромінювання домішки марганцю в ZnS з $\lambda_{\max} \sim 597$ нм, яка також є складною та складається зі смуг з $\lambda_{\max} \sim 557, 578, 600$ і 630 нм. Необхідно

відмітити, що легування стекл в процесі синтезу відбувається нерівномірно. В даному зразку присутні області де відсутнє випромінювання, яке обумовлене випромінювальними центрами Mn. В спектрах ФЛ стекл з частинками ZnS:Mn, які вводилися в розплав вже синтезованого скла, спостерігається тільки одна смуга, характерна для самоактивованої люмінесценції ZnS. Відсутність смуги ФЛ, яка характерна для марганцевих центрів випромінювання ймовірно може бути обумовлено дифузією Mn з фази ZnS в матрицю скла (рис.1, крива 2). Це може свідчити про те, що в даному випадку відбувається більш рівномірне легування вихідних стекл.

УДК 621.3.032:539.23

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО Ge

Демьяненко-Мамонова В.А.

Бердянский государственный педагогический университет, аспирант, dvika@ukr.net

Анотация: германий является полупроводником, электрохимия которого изучена наиболее полно. Представления, развитые на основе исследований электрохимических свойств германия, являются основой электрохимии полупроводников и используются для объяснения электрохимических свойств других полупроводников и полупроводниковых материалов. Германий традиционно применяется в различных областях техники, а в последнее время все чаще используется и наноструктуры на его основе.

Ключевые слова: германий, полупроводник, электрохимия, пористый германий, порообразование, электрохимическое травление

Annotation: Germanium is a semiconductor, the electrochemistry of which is studied most fully. The concepts developed on the basis of studies of the electrochemical properties of germanium are the basis of the electrochemistry of semiconductors and are used to explain the electrochemical properties of other semiconductors and semiconductor materials. Germanium is traditionally used in various fields of technology, and lately, nanostructures based on it have been increasingly used.

Key words: germanium, semiconductor, electrochemistry, porous germanium, porogenesis, electrochemical etching.

На сегодняшний день в полупроводниковой технологии Ge играет одну из основных ролей, и применяется для изготовления датчиков или специальных фильтров. В имеющейся литературе по электрохимии описано получение пористого германия[2,3], но процесс порообразования изучен не достаточно.

Германий традиционно применяется в различных областях техники, а в последнее время все чаще используется и наноструктуры на его основе. В течение последних нескольких лет успешно развиваются методики, позволяющие получать различные нанообъекты, к которым относится электрохимическое травление.

Пористый германий ранее был получен электрохимическим травлением в работах [1, 4-5]. Но отличием исследованного образца является получение пор закрытого типа.

Микрофотография протравленного образца (рис.1) была получена с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6490. На ней представлены поры закрытого типа, которые были получены после травления кристалла германия в растворе $C_2H_5OH:HNO_3:HF=1:1:0,4$ в течении 20 минут. Четко рассматривается на всей поверхности кристалла образование и распределение пор.

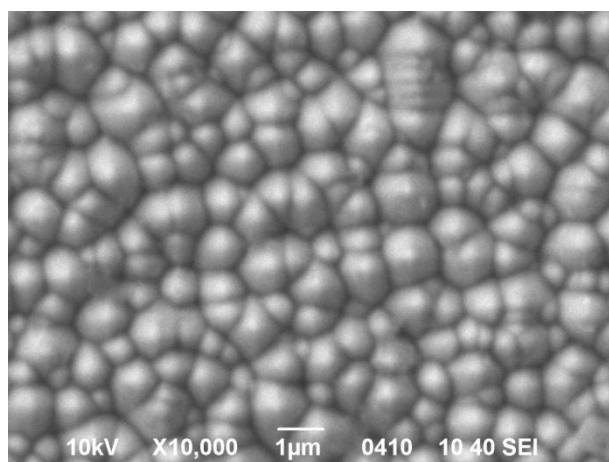


Рис. 1. СЭМ-изображение поверхности пористого *n*-Ge, время травления $t=20$ мин, электролит $C_2H_5OH:HNO_3:HF=1:1:0,4$, напряжение порообразования 16-17 В; плотность тока создания пористой структуры $j = 5,4 \div 100$ мА.

Література:

1. Porous III-V Semiconductors: online book. Porous III-V Semiconductors by I. Tiginyanu, S. Langa, H. Foell and V. Ursachi.
2. А.И. Чукавин, Р.Г. Валеев, А.Н. Бельтюков. СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ Структур на основе германия в матрице пористого оксида алюминия. вестник удмуртского университета. 2011. Вып. 2.
3. S.Langa, J.Carstensen, M.Christophersen, K.Steen, S.Frey, I.M.Tiginyanu, and H.Föll. Uniform and Nonuniform Nucleation of Pores during the Anodization of Si, Ge, and III-V Semiconductors .
4. S.-S.Chang,R.E.Hummel. Comparison of photoluminescence behavior of porous germanium and spark-processed Ge. Journal of Luminescence 86(2000)33-38.
5. S. Langa, M. Christophersen, J. Carstensen, I. M. Tiginyanu and H. Föll. Electrochemical pore etching in Ge. Rapid Research Note.

УДК 621.315.592; 537.529; 541.013

ОТРИМАННЯ ПЛІВОК ZnO НА МАКРОПОРУВАТОМУ Si (100) МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ

Кідалов В.В.¹, Дяденчук А.Ф.², Батурич В.А.³, Рогозін І.В.⁴, Бачеріков Ю.Ю.⁵, Жук А.Г.⁶, Філоненко М.М.⁷, Карпенко О.Ю.⁸, Кідалов В.В.⁹

¹<https://orcid.org/0000-0002-5128-1880>, Бердянський державний педагогічний університет, д. фіз.-мат. н., професор, KidalovV.V@gmail.com

²<https://orcid.org/0000-0002-6625-9985>, Бердянський державний педагогічний університет, ст. викладач, Dyadenchukalena@gmail.com

³Інститут прикладної фізики НАН України, к. фіз.-мат. н., старший науковий співробітник, baturin@ipflab.sumy.ua

⁴Бердянський державний педагогічний університет, к. фіз.-мат. н., доцент, rivrov@gmail.com

⁵Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, д. фіз.-мат. н., провідний науковий співробітник, yuuyu@isp.kiev.ua

⁶Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, к. фіз.-мат. н., науковий співробітник, jook.anton@gmail.com

⁷<https://orcid.org/0000-0002-2938-3725>, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, к. фіз.-мат. н., доцент, m.m.filonenko@npu.edu.ua

⁸Інститут прикладної фізики НАН України, молодший науковий співробітник, ayk@ukr.net

⁹Бердянський державний педагогічний університет, студент, V.V.Kidalov@gmail.com

Анотація: У даній роботі методом реактивного магнетронного ВЧ розпилення отримані плівки ZnO на підкладках кремнію орієнтації (100) з попередньо нанесеною системою макропор. Рентгенографічні дослідження ZnO показали, що вони мають полікристалічну природу з гексагональною решіткою типу вюрцит. Середні розміри кристалітів склали 12 нм. Мікроелементний аналіз виявив практично ідеальну стехіометричність ZnO вирощеного на porous-Si/Si.

Ключові слова: реактивне магнетронне розпилення, плівка ZnO, макропоруватий Si.

Annotation: In the present work, ZnO films on (100) silicon substrates with a pre-applied system of macropores were obtained by the method of reactive magnetron HF sputtering. X-ray studies of ZnO have shown that it has a polycrystalline nature with a hexagonal wurzite-type lattice. The average crystallite size was 12 nm. Trace element analysis revealed almost perfect stoichiometric ZnO grown on porous-Si/Si.

Key words: reactive magnetron sputter, ZnO film, macroporous Si.

Актуальність теми. Одними з найбільш перспективних плівкових покриттів є прозорі провідні оксидні покриття, серед яких особливе місце займає оксид цинку. Підвищений інтерес викликаний унікальною комбінацією оптичних та електрофізичних властивостей оксиду цинку. Оксид цинку (ZnO) має широке технологічне застосування, зокрема, в фотоприймачах, короткохвильових напівпровідникових діодних випромінювачах (світлодіодах), тонкоплівкових сонячних елементах, сенсорах газу, фотодетекторах. На даний момент залишається актуальним питання про отримання плівок оксиду цинку із заданими функціональними характеристиками, здатних знайти широке промислове застосування пристроїв на основі шарів ZnO.

Для отримання плівок ZnO можуть бути використані підкладки нітриду галію (GaN) і карбиду кремнію (SiC). Однак вартість даних підкладок великого діаметра достатня висока. З метою здешевлення при виготовленні структур з плівкою ZnO часто як підкладка використовується кремній (Si).

Останнім часом ведуться спроби по отриманню плівок на поруватій поверхні напівпровідників, що пов'язано з можливістю оптимізації умов розміру зерна, вакансій кисню, дефектів і т. д.

Метою цієї роботи є дослідження процесів формування оксиду цинку методом реактивного магнетронного ВЧ розпилення на підкладках кремнію орієнтації (100) з попередньо нанесеною системою макропор.

Методика експерименту. Зразки поруватого кремнію були отримані методом електрохімічного травлення з використанням кремнієвих пластин n-типу провідності орієнтації (100) з питомим опором $1,0 \div 1,5$ Ом·см. Процес анодування проводили з використанням розчину електроліту, що складається з плавикової кислоти (HF) і етанолу (C_2H_5OH).

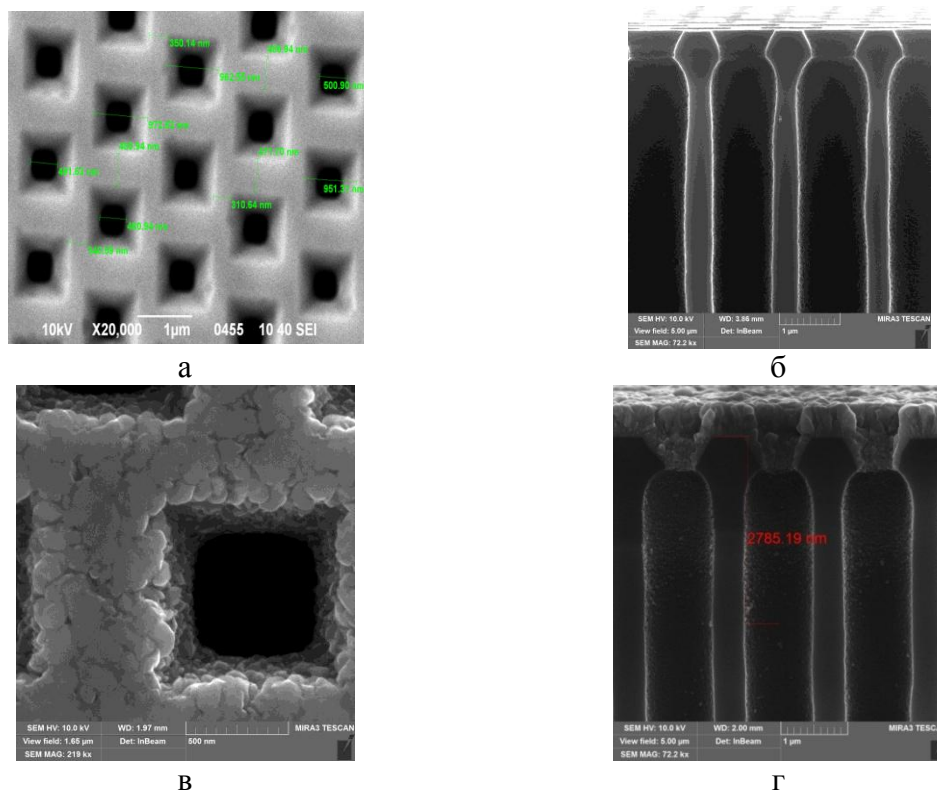


Рис. 1. РЕМ-зображення поверхні (а) та поперечного перерізу макропоруватого Si (б), а також поверхні (в) та поперечного перерізу (г) плівки ZnO, сформованої на поверхні Si (100) з попередньо нанесеною системою макропор

Напилення плівок ZnO виконано реактивним магнетронним ВЧ розпиленням цинкової мішені. Підкладки закріплювалися в пристрої за допомогою спеціальних затискачів, які здійснювали їх переміщення всередині вакуумної камери. Підкладки і мішені розміщували паралельно один одному. Безпосередньо перед процесом нанесення плівок вакуумну систему було відкачано до рівня 10^{-3} Па.

Результати та обговорення. Після обробки на поверхні зразків спостерігається структура з невеликих, близько десятків-сотні нанометрів, кристалітів. Зразок зберіг вихідну структуру у вигляді сітки (рис. 1,в). Оціночна товщина плівки ZnO становить близько 1-3 мкм (рис. 1,г).

Мікроелементний аналіз плівки ZnO свідчить про високу стехіометричність плівки ZnO на поверхні porous-Si (100).

Рентгенографічні дослідження кристалічної структури покриттів з ZnO показали, що вона має полікристалічну природу з гексагональною решіткою типу вюрцит. Рентгенограми мають основний дифракційну пік (002), який спостерігається при куті $2\theta = 34,64^\circ$. Кристаліти

в покриттях ZnO високо орієнтовані по осі c , перпендикулярно до поверхні підкладки. Постійна решітки вздовж кристалографічної осі c півки ZnO складала 5,2260 Å.

Середні розміри кристалітів розраховані за формулою Селякова-Шерера. Згідно обчислень середній розмір кристалітів склав 12 нм, що трохи менше, ніж розмір кристалітів згідно результатів СЕМ (рис. 1, в).

Широке застосування дані гетероструктури можуть знайти при виготовленні джерел світлодіодних чіпів, випромінюючих біле світло (поєднання синьо-зеленої емісії від ZnO з червоно-помаранчевою емісією з поруватого кремнію). У зв'язку з цим представляються актуальними подальші дослідження процесу формування поруватої структури в системі ZnO/Si та її впливу на механічні напруження в системі.

УДК 535.016, 535.215, 53.096, 535.37

ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ Si КВАНТОВИХ ТОЧОК AlAs/InAs У ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ AlAs/InAs/GaAs

Ковальова М.С.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
kovalyova_marianna@ukr.net

Анотація: Для дослідження впливу легування були виготовлені сонячні елементи з квантовими точками InAs/GaAs у проміжній зоні, пролеговані Si. Присутність домішок Si в квантових точках призводить до покращення ефективності внаслідок розширення спектру в інфрачервону область та наявності вбудованого заряду. Були виміряні вольт-амперні характеристики та спектри фотоЕРС. Виявлено, що легування збільшує струм в зворотному напрямку, проте зменшує сигнал фотоЕРС.

Ключові слова: сонячні елементи, квантові точки (КТ), фотострум, фотовольтаїка, фотоЕРС.

Annotation: To study the effect of Si doping, intermediate band solar cells (IBSCs) with Si doped InAs/GaAs quantum dots that were fabricated. Si selective doping of quantum dots leads to an improvement in efficiency due to IR harvesting and built-in-dot charge. Photovoltage and I–V characteristics were measured. The observed increase the current in the reverse direction due to Si doping but photovoltage signal is reduced.

Key words: solar cells, quantum dots (QDs), photocurrent, photovoltaics, photovoltage.

Розробка новітніх електронних та оптоелектронних пристроїв вимагає інформації щодо різних механізмів та характеру перебігу нерівноважних процесів в гетероструктурах, а також вплив на них квантово-розмірних станів та інтерфейсів. Серед матеріалів для сонячних батарей популярними є сполуки типу $A^{III}B^V$, до яких належить InAs/GaAs. Такі сонячні елементи мають високу ефективність¹ завдяки широкій проміжній зоні. Внаслідок поглинання фотонів підрівнями забороненої зони утворюється додаткова фотоЕРС, що дозволяє перевищити ліміт Шоклі-Квейсера³. Для підвищення ефективності використовується селективне легування. В досліджуваних структурах часткове заповнення електронами проміжної зони досягається введенням домішок Si у КТ.

Гетероструктури AlAs/InAs/GaAs були вирощені методом молекулярно-променевої епітаксії на підкладці n^+ GaAs (001). Внутрішня область досліджуваних структур складається з 20 шарів, кожен з яких містить 2,3 моношарів квантових точок InAs з двома моношарами AlAs, розділені шаром GaAs товщиною 20 нм. Квантові точки були пролеговані домішками Si з різною концентрацією 0, 6, 12, 18 та 24 електронів на КТ (e/КТ).

Було виміряно темнові вольт-амперні характеристики (ВАХ) при кімнатній температурі (рис. 1.). Встановлено, що найбільший струм в зворотному напрямку спостерігається, коли легований шар містить 12 e/КТ і 18 e/КТ. Інші концентрації легування зменшують струм у порівнянні зі зразком без легування.

Аналіз ВАХ при освітленні (AM 1.5) показав, що наявність іонізованих домішок Si істотно зменшує струм короткого замикання сонячних елементів. Виявилось, що легування КТ призвело до зменшення фотопровідності та зменшення сигналу фотоЕРС у порівнянні з нелегованим зразком.

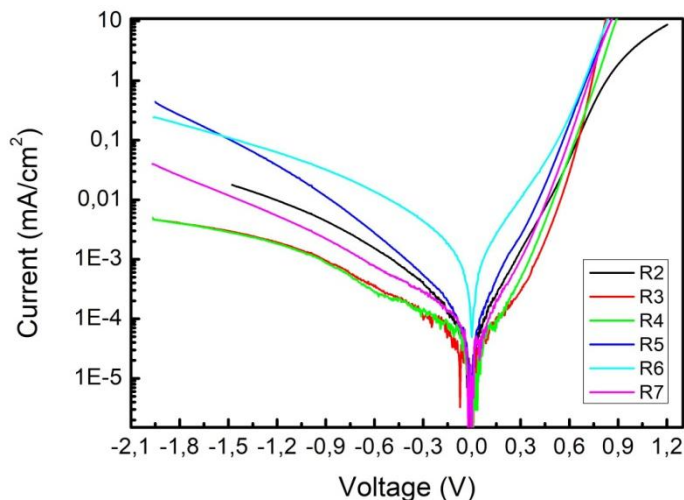
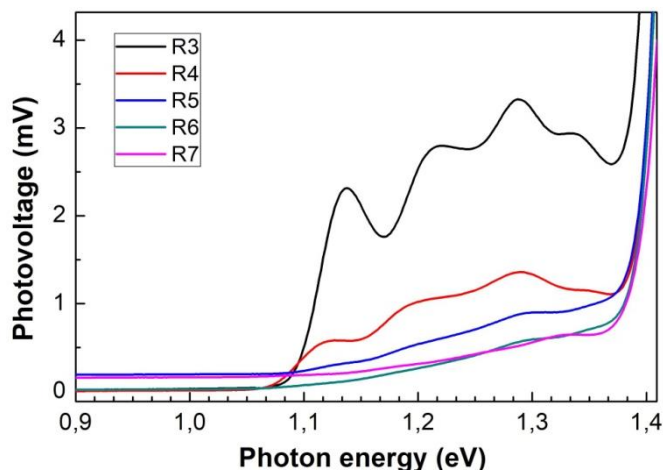


Рис. 1. Темнові ВАХ структур без квантових точок (R2) та з квантовими точками, які



пролеговано різною концентрацією Si (R3-R7) при кімнатній температурі.
Рис. 2. Спектри фотоЕРС для зразків R3-R7 при температурі 300 К.

Для експериментального визначення енергії переходів для зразків із КТ InAs з різною кількістю домішок було досліджено спектри фотоЕРС за кімнатної температури (рис. 2.). В області, де GaAs є прозорим, спостерігається внесок міжзонних переходів за участі станів квантово-розмірних об'єктів та станів змочувального шару. Легування КТ не вплинуло на енергії переходів. Проте, збільшення концентрації Si призводить до зменшення сигналу фотоЕРС, оскільки легування домішками n-типу зменшує швидкість генерації носіїв у GaAs КТ через заповнення основних рівнів внаслідок ефекту Бурштейна-Мосса.

Література:

1. M. Green, K. Emery, Y. Hishikawa and W. Warta, Progress In Photovoltaics: Research And Applications 16, (2008).
2. A. Luque and A. Martí, Physical Review Letters 78, (1997).
3. S. Sauvage, P. Boucaud, F. Julien, J. Gérard and J. Marzin, Journal Of Applied Physics 82, (1997).

THE USE OF RAPID THERMAL ANNEALING FOR THE FORMATION OF OXIDE FILMS IN THE STRUCTURE Dy₂O₃/por-SiC/SiC

Okhrimenko O.B.¹, Bacherikov Yu.Yu.², Konakova R.V.³, Kapitanchuk L. M.⁴, Svetlichnyi A. M.⁵

¹Leading scientific collaborator at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine, e-mail: olga@isp.kiev.ua

²Leading scientific collaborator at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine, e-mail: yuyu@isp.kiev.ua

³Professor at Laboratory of Physical and Technological Problems of Solid-State Microwave Electronics at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine, e-mail: konakova@isp.kiev.ua

⁴Researcher at E. O. Paton Electric Welding Institute, National Academy of Science of Ukraine, e-mail: leonkap@ukr.net

⁵Associate Professor at Institute of Nanotechnologies, Electronics, and Electronic Equipment Engineering, Southern Federal University, Taganrog, Russia, e-mail: svetlich@tsure.ru

Annotation: Using Auger spectrometry techniques, we studied the effect of rapid thermal annealing (RTA) on the properties of dysprosium oxide films deposited onto a por-SiC/SiC. An analysis of atomic composition of the films under investigation as a function of RTA duration was performed. It is shown that the RTA method allows one to obtain thin oxide films of Dy₂O₃, with a composition close to stoichiometric on the surface of por-SiC/SiC. At the same time, the increase in the RTA time leads to an improvement in the quality of the film/substrate interface.

Key words: thin dysprosium oxide films, rapid thermal annealing, por-SiC/SiC substrates, interface.

The development of microelectronics necessitates the use of materials that are characterized by high chemical and thermal resistance, large values of dielectric constant ($\epsilon = 8-20$) and resistivity ($\rho = 10^{13}-10^{16} \Omega \text{ cm}$), such as rare-earth oxides (REE). As a rule, REE oxides are used in metal – dielectric – semiconductor (MDS) –transistors, heat-resistant and effective anti-reflective and passivating dielectric covers for photoelectric devices. At the same time, REE oxides have high transparency in the visible region of the spectrum, chemical and thermal resistance, and have an optimal refractive index for these purposes. In addition, the using of two-layer dielectric films such as REE oxide – SiO₂ in microelectronics can improve the electrical stability of MIS devices. However, despite the large number of works devoted to the study of the properties of rare-earth oxide film and MIS-systems, obtained on their basis, the search and development of new REE systems, oxide-semiconductor remains an actual task.

The modern requirements of microelectronics, associated with the miniaturization of devices, lead to the need to take into account the physical boundaries of the minimum allowable dimensions for materials used in MIS structures. As is known, a decrease in the thickness of the SiO₂ oxide which the traditionally used in silicon and silicon carbide MOS structures up to 10–15 Å is attended with an unacceptably high leakage current. Reducing the leakage current through the gate dielectric is achieved by replacing silicon dioxide with so-called alternative dielectrics (dielectrics with high dielectric permittivity – high-k dielectrics). The use of alternative dielectrics allows to increase the physical thickness of the dielectric and thus suppress the tunneling current. In addition, when REE oxides are used as alternative oxides, the absence of a “thick” disturbed in-between layer oxide/substrate is observed, which is associated with relatively low temperatures for the production of dielectric films based on rare earth oxides, which do not cause significant mechanical stresses at the oxide/substrate interface.

The structural, optical, and electrical characteristics of REE films can significantly depend on the methods and conditions of preparation, on subsequent processing, as well as on the type of substrates used.

One way to reduce the magnitude of mechanical stresses at the oxide/substrate interface, as well as to reduce the effect of structural defects of a semiconductor substrate, penetrating a high oxide process into a thin oxide film grown on this substrate, is to create a porous layer between the substrate and the epitaxial layer.

In this regard, the purpose of this work was to study the characteristics of carbide silicon MDS structures with dielectric films of dysprosium oxide Dy_2O_3 formed by the RTA method on silicon carbide substrates with an intermediate porous por-SiC layer.

To form the oxide film Dy_2O_3 at the initial stage, a film of dysprosium was deposited on the surface of porous silicon carbide using a thermal spraying method. Then, the samples were annealed in vacuum at a temperature of $850^\circ C$ for 8 min, after which a thin film of dysprosium oxide was formed on the surface of the substrate using fast thermal annealing in a dry oxygen atmosphere at $400^\circ C$ for 1-5 s.

The thickness of the oxide layers was determined by the Auger method of spectroscopy, and was $\sim 130-170$ nm.

Fig.1 shows the image of the surface of the Dy_2O_3 /por-SiC/SiC structure obtained using scanning electron microscopy.

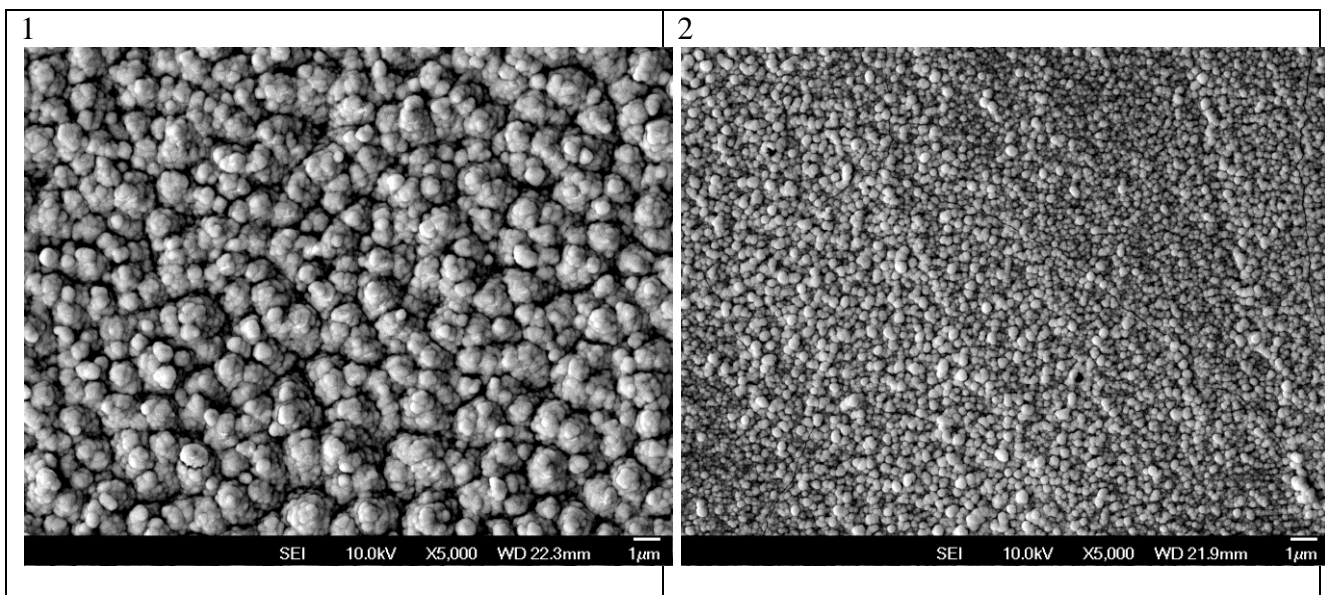


Fig.1. The image of the surface of the Dy_2O_3 /por-SiC/SiC structure obtained using scanning electron microscopy. 1 - RTA time 1 s, 2 - RTA time 5 s

As can be seen from Fig. 1, the oxide film has a non-uniform character and a granular structure. An increase in the RTA time contributes to a decrease in the grain size and the formation of an oxide film with a more uniform structure.

The data from Auger spectrometry showed that when growing dysprosium oxides, heat treatment allows the formation of uniform thickness Dy_2O_3 oxide layers whose composition is close to stoichiometric. At the same time, the ratio of the components of the Dy oxide formed on the por-SiC/SiC base almost corresponds to the stoichiometric composition of the one-and-a-half dysprosium oxide: $N_O/N_{Dy} \approx 1.4$ regardless of the oxidation time. In addition, an increase in the RTA time leads to the formation of a sharper oxide film/substrate interface. The formation of a sharper oxide film/substrate interface with an increase in the RTA time is most likely due to the fact that with an increase in the RTA time, the dysprosium silicates, formed in the intermediate layer of the oxide film - porous layer, are destroyed.

Thus, as can be seen from the experimental data, the RTA method allows one to obtain thin oxide films of Dy, with a composition close to stoichiometric on the por-SiC/SiC substrate. At the same time, the increase in the RTA time leads to an improvement in the quality of the film/substrate interface. At the same time, the presence of a porous layer between the substrate and the epitaxial

layer makes it possible to reduce the effect of structural defects of the semiconductor substrate and improve the quality of the entire structure.

УДК 548.736.5, 539.26, 538.913, 538.953

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ - $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$

Гременок В.Ф.¹, Шелег А.У.², Гуртовой В.Г.³, Хорошко В.В.⁴, Новиков Г.Ф.⁵

¹ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», заведующий лабораторией, gremenok@physics.by

²ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», главный научный сотрудник, sheleg@physics.by

³ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», научный сотрудник, hurtavy@physics.by

⁴Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, заведующий кафедрой, khoroshko1986@mail.ru

⁵Институт проблем химической физики, Черноголовка, Россия, заведующий лабораторией, gfnovikov@gmail.com

Анотация: Направленной кристаллизацией расплава выращены кристаллы соединений $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ и твердых растворов $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4-x}\text{Se}_{4(1-x)}$. Методом микрорентгеноспектрального анализа определен состав полученных кристаллов, рентгеновским методом – их структура. Установлено, что как исходные соединения $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ так и твердые растворы на их основе кристаллизуются в тетрагональной структуре. Параметры элементарной ячейки a и c изменяются линейно в соответствии с законом Вегарда.

Ключевые слова: кристаллы, структура, параметры элементарной ячейки.

Annotation: Crystals of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ compounds and $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4-x}\text{Se}_{4(1-x)}$ solid solutions have been grown by directional crystallization of the melt. The composition of the grown crystals was determined by X-ray microprobe analyses, XRD was used for determination of their structure. It was established, that both starting compounds $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ and $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4-x}\text{Se}_{4(1-x)}$ solid solutions on their base are crystallized in tetragonal structure. Unit cell parameters a and c change linearly in accordance with Vegard's law.

Key words: crystals, structure, unit cell parameters.

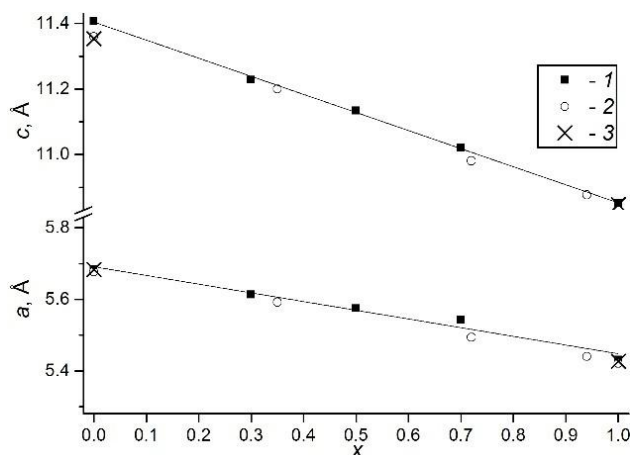
Исследование полупроводниковых соединений $\text{Cu}_2\text{B}^{\text{II}}\text{C}^{\text{IV}}\text{X}_4$ (где B^{II} – Zn, Cd; C^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se, Te) является новым перспективным направлением в полупроводниковом материаловедении. К таким материалам относятся и соединения $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, обладающие физическими свойствами, которые дают возможность использовать их в качестве поглощающего слоя в тонкопленочных преобразователях солнечной энергии. Кроме того, указанные соединения не содержат таких дорогостоящих элементов как индий и галлий. Отсутствие надежной информации о методах получения, физико-химических свойствах и связи технологии получения с физическими свойствами указанных кристаллов является на сегодняшний день одним из основных факторов, сдерживающих прикладные разработки на основе этих материалов. В литературе имеются лишь отрывочные сведения о выращивании кристаллов твердых растворов на основе соединений $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$.

Для синтеза четверных соединений $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ и твердых растворов использовали метод направленной кристаллизацией расплава, обеспечивающий чистоту получаемого вещества и отсутствие потерь компонентов. Исходными веществами служили элементарные компоненты: медь, цинк и олово чистоты 99.999%, сера и селен марки ОСЧ. Синтез проводили в двойных кварцевых ампулах. Исходные компоненты в соотношениях,

соответствующих формульному составу, в количестве ~15 г загружали в ампулу, которую затем вакуумировали. Эту ампулу помещали в другую вакуумированную ампулу, которую устанавливали в вертикальной однозонной печи. Температуру в печи поэтапно с двухчасовой выдержкой поднимали до значений, на 20–30°C превышающих температуру плавления соединения, либо до температуры ликвидуса твердого раствора соответствующего состава. При достижении нужной температуры включали вибрационное перемешивание и температуру выдерживали в течение 4 ч. Затем вибрацию отключали и уменьшали температуру со скоростью 5 град/ч до полного затвердения раствора. Для гомогенизации полученных слитков твердых растворов проводили их изотермический отжиг в вакууме при 750°C в течение 300 ч.

Состав выращенных кристаллов определяли с помощью микрозондового рентгеноспектрального анализа. В качестве анализатора рентгеновского спектра использовали рентгеновский спектрометр «AVALON – 8000». Относительная погрешность определения компонентов составляла $\pm 5\%$. Структуру и параметры элементарной ячейки полученных кристаллов устанавливали рентгеновским методом. Дифрактограммы записывали на автоматически управляемом с помощью ЭВМ рентгеновском дифрактометре ДРОН–3 М в $\text{CuK}\alpha$ излучении с графитовым монохроматором. Параметры элементарной ячейки определялись из записанных дифракционных спектров на основе полнопрофильного анализа методом Ритвельда с использованием программного пакета Fullprof

Установлено, что на дифрактограммах твердых растворов различных составов с $x = 0.0, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0$ наблюдаются рефлексы, характерные только для тетрагональной структуры этих соединений, что свидетельствует об однофазности полученных образцов. По дифракционным спектрам определены параметры элементарной ячейки исследованных образцов. Показано, что параметры с ростом значений x уменьшаются по линейному закону, что соответствует правилу Вегарда и свидетельствует об образовании в системе $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4x}\text{Se}_{4(1-x)}$ непрерывного ряда твердых растворов в области $0 \leq x \leq 1$.



Зависимость параметров элементарной ячейки a и c образцов твердых растворов $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4x}\text{Se}_{4(1-x)}$ от состава: 1 – поликристаллические образцы; 2 – пленки; 3 – литературные данные.

Одной из важных структурных характеристик исследуемых соединений, которая связана непосредственно с электронной структурой, а, следовательно, и с эффективностью фотопреобразования, является параметр тетрагональных искажений кристаллической решетки, который определяется как отклонение от единицы соотношения $\eta = c/2a$, где a и c – параметры элементарной ячейки. Установлено, что значения параметра η для исследованных твердых растворов $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4x}\text{Se}_{4(1-x)}$ близки к единице, что свидетельствует о малых искажениях кристаллической решетки образцов соединений, полученных нами методом.

Данні дослідження проведені при фінансовій підтримці Білоруського республіканського фонду фундаментальних досліджень і Російського фонду фундаментальних досліджень (гранти Ф18Р-243 і Бел_а 18-58-00021).

УДК 621.3

**СИНТЕЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМІЧНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ЕФЕКТИВНИХ МІКРОРЕЗОНАТОРІВ
В РАДІОСПЕКТРОСКОПІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

**С.О. Солопан¹, А.Г. Білоус¹, І.П. Ворона², І.С. Головіна², О.М. Грещук²,
В.О. Юхимчук^{2*}**

¹Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України

²Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України

*yukhm@isp.kiev.ua

Анотація: В роботі розглянута можливість суттєвого підвищення чутливості ЕПР спектрометра за рахунок розробки мініатюрного керамічного резонатора, синтезованого з діелектричних матеріалів. Проведено синтез різних видів кераміки та їх Раманівська та ЕПР діагностика при кімнатних температурах.

Ключові слова: надвисокочастотні діелектричні матеріали, діелектрична проникність, електронний парамагнітний резонанс, кераміка, Раманівська спектроскопія.

Annotation: The possibility of a significant increase in the sensitivity of the EPR spectrometer by developing a miniature ceramic resonator synthesized from dielectric materials is considered in the paper. Synthesis of different types of ceramics and their Raman and ESR diagnostics at room temperatures have been carried out.

Key words: ultrahigh-frequency dielectric materials, dielectric permittivity, electronic paramagnetic resonance, ceramics, Raman spectroscopy.

Метод електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) надійно зарекомендував себе як ефективний засіб діагностики парамагнітних властивостей, які є передумовою для проходження біохімічних реакцій в медико-біологічних, екологічних, харчових та інших об'єктах. В останні роки особливу увагу для досліджень привертають біомедичні об'єкти, на кшталт живих тканин або зразків крові, які містять природну (не завжди велику кількість парамагнітних центрів) і часто обмежені за розмірами, тому рівень ЕПР сигналу, як правило, низький або ЕПР спектри взагалі не реєструється. Для дослідження таких об'єктів підвищення чутливості ЕПР-спектроскопії є вирішальним чинником при їх діагностиці. Особливо актуальним це стає при подальшій мініатюризації приладів ЕПР. Ефективним засобом підвищення чутливості методу ЕПР є використання діелектричних резонаторів. Однак, діелектричні матеріали, які застосовувалися раніше, не забезпечують належної чистоти, високої добротності, термостабільності електрофізичних параметрів і відносно низької собівартості виготовлених із них резонаторів ЕПР. Саме тому на сьогоднішній день досить важливою задачею є розробка та виготовлення високодобротних, термостабільних надвисокочастотних діелектричних резонаторів, використання яких в ЕПР спектроскопії дозволить значно підвищити чутливість методу ЕПР при значному розширенні робочого інтервалу температур, які призначені для детектування медико-біологічних об'єктів.

Метою даної роботи було дослідження впливу методів синтезу та якості вихідних реагентів на параметри ЕПР спектрів для діелектричних матеріалів з різною діелектричною проникністю ($\approx 35-160$).

В ролі об'єктів дослідження було обрано тверді розчини титанатів лужноземельних та рідкісноземельних металів: $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ (хч), $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ (осч), $\text{Ba}_4\text{Sm}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54} + \text{Ba}_4\text{Nd}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ (осч), $\text{CaTiO}_3 + \text{ZnTiO}_3$ (хч). Синтез діелектричних матеріалів проводили методом твердофазних реакцій. При цьому для синтезу в ролі вихідних реагентів

використовували оксиди металів, зокрема оксид титану TiO_2 з різним ступенем чистоти “ХЧ” та “ОСЧ”.

На рис. 1 наведено Раманівські спектри різних видів синтезованої кераміки. Спектри реєструвалися в "back-scattering" геометрії при кімнатній температурі на спектрометрі, який являв собою монохроматор, оснащений CCD-камерою фірми Andor. Для збудження Раманівських спектрів використовувалося випромінювання твердотільного лазера з довжиною хвилі 532 нм.

Аналіз Раманівських спектрів (криві 1 та 2 на рис. 1) свідчить, що відбувається утворення саме сполуки BaTi_4O_9 . Частоти всіх смуг в цих спектрах збігаються з частотами відповідних смуг кераміки, яка була синтезована з таким же компонентним складом авторами роботи [1]. Раманівські спектри керамічних матеріалів на основі CaTiO_3 вивчалися у роботі [2] і вони подібні до спектрів, отриманих в наших дослідженнях. Що стосується Раманівських спектрів для зразків на основі $\text{Ba}_4\text{Sm}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54} + \text{Ba}_4\text{Nd}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$, то вони наразі в опублікованій літературі відсутні і потребують більш детальних досліджень.

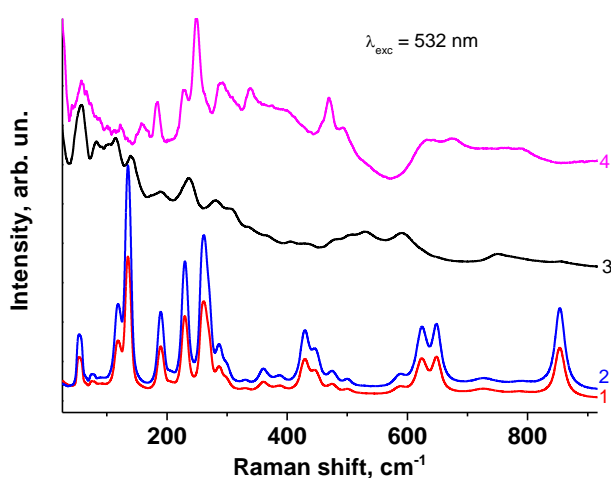


Рис. 1. Раманівські спектри керамічних зразків, сформованих з діелектричних матеріалів: 1 - $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ (хч); 2 - $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ (осч); 3 - $\text{Ba}_4\text{Sm}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54} + \text{Ba}_4\text{Nd}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ (осч); 4 - $\text{CaTiO}_3 + \text{ZnTiO}_3$ (хч).

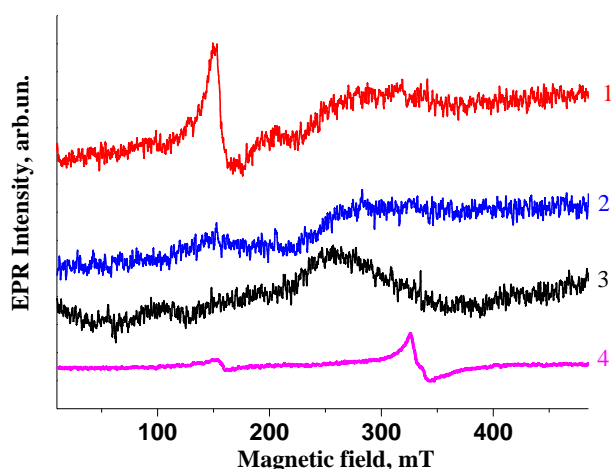


Рис. 2. ЕПР спектри керамічних зразків, сформованих з діелектричних матеріалів: 1 - $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ (хч); 2 - $\text{BaTi}_4\text{O}_9 + \text{ZnO}$ (осч); 3 - $\text{Ba}_4\text{Sm}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54} + \text{Ba}_4\text{Nd}_{9,2}\text{Ti}_{18}\text{O}_{54}$ (осч); 4 - $\text{CaTiO}_3 + \text{ZnTiO}_3$ (хч).

На рис. 2 наведено ЕПР спектри, які реєструвалися при кімнатній температурі на спектрометрі X діапазону ($\nu_{\text{НВЧ}} \sim 9.5$ ГГц) “Radiopan”. В спектрах керамічних зразків (криві 1, 4) присутні сигнали ЕПР, що робить їх непридатними для використання в якості матеріалів для виготовлення діелектричних резонаторів. Розшифровка сигналів ЕПР та їх ідентифікація може допомогти у визначенні причин появи цих сигналів та їх усунення. Так кераміки 1 та 4 демонструють сигнал ЕПР в низьких полях (~ 150 мТ). Такі сигнали часто реєструються в матеріалах, що мають в своєму складі іони заліза. Очевидно, що використані для синтезу керамік хімічні реактиви, зокрема оксид титану, мали домішкові іони заліза в малих концентраціях. Для керамічних зразків діелектричних матеріалів (криві 2, 3), виготовлених з більш чистого оксиду титану, цей сигнал ЕПР був відсутній, що дає змогу говорити про можливість їх потенційного використання в якості ефективних резонаторів ЕПР при кімнатній температурі.

Література:

1. A. Wypych-Puszkarz, I. Bobowska, A. Wrzesinska et al. Synthesis and Characterization of Low Loss Dielectric Ceramics Prepared from Composite of Titanate Nanosheets with Barium Ions. Journal of Nanomaterials. (2017), doi.org/10.1155/2017/1351085.
2. H. Zheng, I.M. Reaney, G.D.C. Csete de Gyorgyfalva et al. Raman spectroscopy of CaTiO₃-based perovskite solid solutions. J. Mater. Res. 19 (2004) 488-495.

УДК 548.76+621.315

ПОГЛИНАЮЧА ЗДАТНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СИСТЕМИ Zn₃P₂-Cd₃P₂

Степанчиков Д.М.¹, Дон Н.Л.²

¹orcid: 0000-0001-5027-2213, ²orcid: 0000-0001-9503-5326, ^{1,2}Херсонський національний технічний університет, доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики, Бериславське шосе, 24, 73008, Херсон, Україна, ¹e-mail: dmitro_step75@ukr.net

Анотація: В межах квазікубічного наближення описано зонну структуру потрійних тетрагональних напівпровідників (Zn_xCd_{1-x})₃P₂, запропоновано аналітичні залежності зонних параметрів від складу x. Отримано правила відбору для міжзонних переходів. Теоретично розраховано спектри поглинання в області фундаментального краю. Проведено порівняльний аналіз отриманих теоретичних результатів з відомими експериментальними даними.

Annotation:The band structure of (Zn_xCd_{1-x})₃P₂ alloy systems is considered within framework of quasi cubic approach. Analytical composition dependences of band parameters are found. Selection rules for interband optical transitions are gained. Absorption spectrums in the region of fundamental band edge are theoretically calculated. The comparative analysis of the gained theoretical results with known experimental data is represented and discussed.

Фосфіди цинку Zn₃P₂ та кадмію Cd₃P₂ формують безперервний ряд квазібінарних

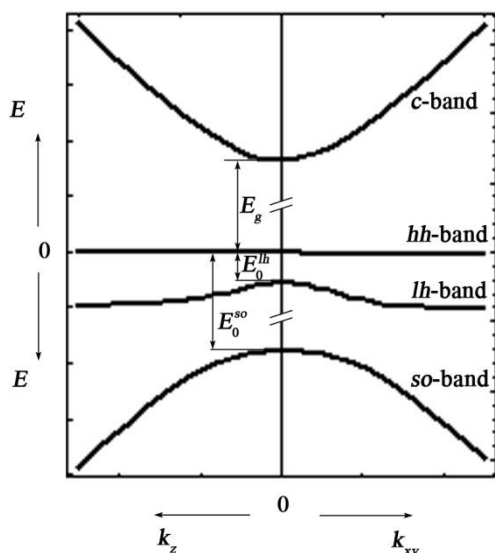


Рис.1. Схема зонної структури напівпровідників (Zn_xCd_{1-x})₃P₂

твердих розчинів заміщення (Zn_xCd_{1-x})₃P₂, які характеризуються прямим фундаментальним енергетичним проміжком у діапазоні від 0,57 еВ (для Cd₃P₂) до 1,52 еВ (для Zn₃P₂). Тому ці сполуки привертають до себе увагу як матеріали для виробництва недорогих і ефективних сонячних елементів, сенсорів, перетворювачів енергії. Зонну структуру напівпровідникової системи (Zn_xCd_{1-x})₃P₂ розглянуто в межах узагальненої моделі Кілдал [1] У такому наближенні гамільтоніан є матрицею 8×8, діагоналізація якої дає дисперсійне рівняння:

$$(k_x^2 + k_y^2)P^2 f_1(E) + k_z^2 P^2 f_2(E) - \gamma(E) = 0, \quad (1)$$

де k_x , k_y , k_z – компоненти хвильового вектора; $\gamma(E)$, $f_1(E)$, $f_2(E)$ – поліноми відносно енергії E носіїв заряду та зонних параметрів, які мають вид:

$$\gamma(E) = E \left((E - E_g) \left(\left(E + \frac{2\Delta}{3} \right) \left(E + \delta + \frac{\Delta}{3} \right) - \frac{2\Delta^2}{9\eta^2} \right) \right); \quad (2)$$

$$f_1(E) = \left(E + \frac{\Delta}{3} \right) \left(E + \delta + \frac{\Delta}{3} \right) - \frac{\Delta^2}{9\eta^2}; \quad f_2(E) = E \left(E + \frac{2\Delta}{3} \right) \eta^{-4}. \quad (3)$$

Модель описує чотири зони: зону провідності (c), валентні зони важких дірок (hh), легких дірок (lh) та спин-орбітально відщеплену (so) (рис.1) і містить шість емпіричних

параметрів: ширина забороненої зони (E_g), матричний елемент імпульсу (P), параметр кристалічного поля (δ), параметр спин-орбітальної взаємодії (Δ), тетрагональна деформація решітки ($\eta=0,99$). Запропоновано композиційні залежності зонних параметрів, обчислено ефективні маси носіїв для актуальних зон (таблиця 1) [2], отримано спектральну залежність коефіцієнта поглинання α (рис.2). Досліджено залежність поглинаючої здатності потоку фотонів A_{hv} напівпровідникової системи $(Zn_xCd_{1-x})_3P_2$ від товщини d поглинаючого шару. Розрахунки виконано згідно [3] для стандартного сонячного випромінювання AM1.5 (рис.2, вставка).

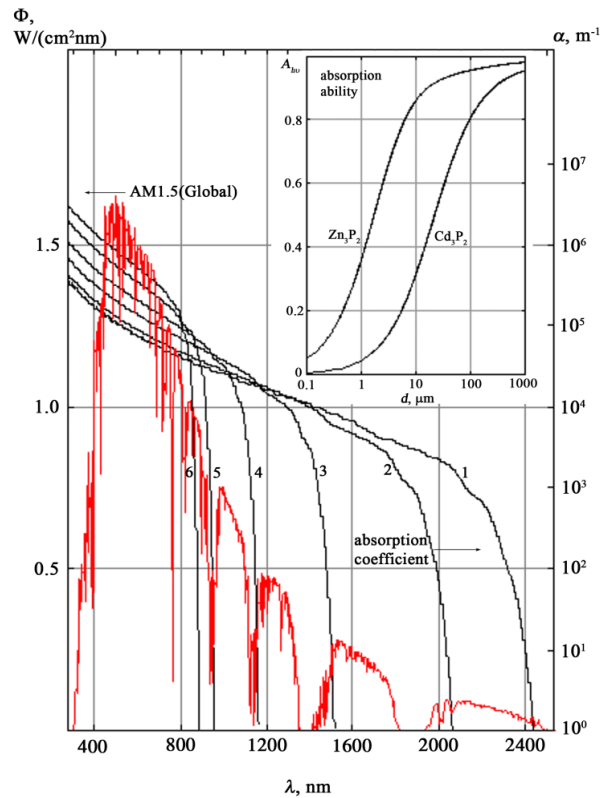


Рис.2. Спектральна густина потужності сонячного випромінювання Φ при AM1.5 і криві поглинання α напівпровідникової системи $(Zn_xCd_{1-x})_3P_2$. Цифрами позначено різні значення композиції: 1- $x=0$; 2 - $x=0,2$; 3 - $x=0,4$; 4 - $x=0,6$; 5 - $x=0,8$; 6 - $x=1$. На вставці поглинаюча здатність A_{hv} в залежності від товщини d матеріалу для бінарних Zn_3P_2 і Cd_3P_2 .

Таблиця 1

Зонні параметри напівпровідників $(Zn_xCd_{1-x})_3P_2$
в межах узагальненої моделі Кілдал

x	E_g , eV	E_0^{lh} , meV	E_0^{so} , meV	Δ , eV	P , 10^{-10} eV·м	δ , eV	m_c	m_{hh}	m_{lh}	m_{so}
0	0,57	-13,8	-159,0	0,150	7,2	0,023	0,045	0,315	0,145	0,160
0,2	0,67	-14,3	-151,6	0,142	6,7	0,024	0,060	0,387	0,196	0,210
0,4	0,90	-14,9	-144,0	0,134	6,2	0,025	0,093	0,524	0,303	0,312
0,6	1,16	-15,4	-140,5	0,134	5,9	0,026	0,140	0,694	0,454	0,461
0,8	1,40	-17,0	-130,0	0,118	5,2	0,029	0,201	0,890	0,648	0,658
1	1,52	-18,0	-122,0	0,110	4,7	0,030	0,266	1,077	0,851	0,871

Література:

1. D. Stepanchikov, G. Chuiko. Excitons into one-axis crystals of zinc phosphide (Zn_3P_2) // *Cond. Matter Phys.*, **12**(2), pp.239-248 (2009).

2. Д. Степанчиков, Г. Чуйко. Экситонні спектри та зонна структура твердих напівпровідникових розчинів в системі $Zn_3P_2 - Cd_3P_2$ // *Фізика і хімія твердого тіла*, **13**(4), с.867-874 (2012).

3. Л.А. Косяченко, Е.В. Грушко, Т.И. Микитюк. Поглощательная способность полупроводников, используемых в производстве солнечных панелей // *ФТП*, **46**(4), с.482-486 (2012).

UDC 538.9

SYNTHESIS OF NANOSCALE ZINC OXIDE

Storchak I.S., Kykavets N.V., Gutsul K.R., Ivanenko I.M.

Department of Inorganic Substances Technology, Water Treatment and General Chemical Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 4 build, 37, Prosp. Peremohy, Kyiv 03056, Ukraine. E-mail: irinaivanenko@hotmail.com

Semiconducting metal oxides have been extensively studied as functional materials for wide applications relating to sustainable development, such as energy conversion/storage, environmental remediation and high-performance electronics [1]. As a wide-band-gap semiconductor (~3.3 eV) with unique optical and electrical properties, ZnO has attracted tremendous interest in the fields of photocatalysis, sensors, solar cells, supercapacitors, etc. When compared to other semiconductor materials, ZnO is also industrially important due to its ease of synthesis, nontoxicity and relatively low cost. Recently, the emerging nanotechnology has provided new opportunities for tuning the nano and mesoscale structures of ZnO in order to extend its applications [1].

In the presented work an attempt is made to synthesize nanoscale ZnO with using a simple and accessible sol-gel technology.

For synthesis, a 0,02 molar solution of formic acid in ethyl alcohol was added dropwise to a hot pre-prepared 0,01 molar alcohol solution of zinc acetate and stirred on a magnetic stirrer for 60 minutes. The resulting white gel was left for aging for 1, 3 and 7 days. After that, it was dried at a temperature of 80 °C. Thus, three samples were obtained, which differed in the duration of aging and marked as ZnO(1), ZnO(2) and ZnO(3), respectively. XRD pattern of synthesized ZnO samples are presented in the Fig. 1.

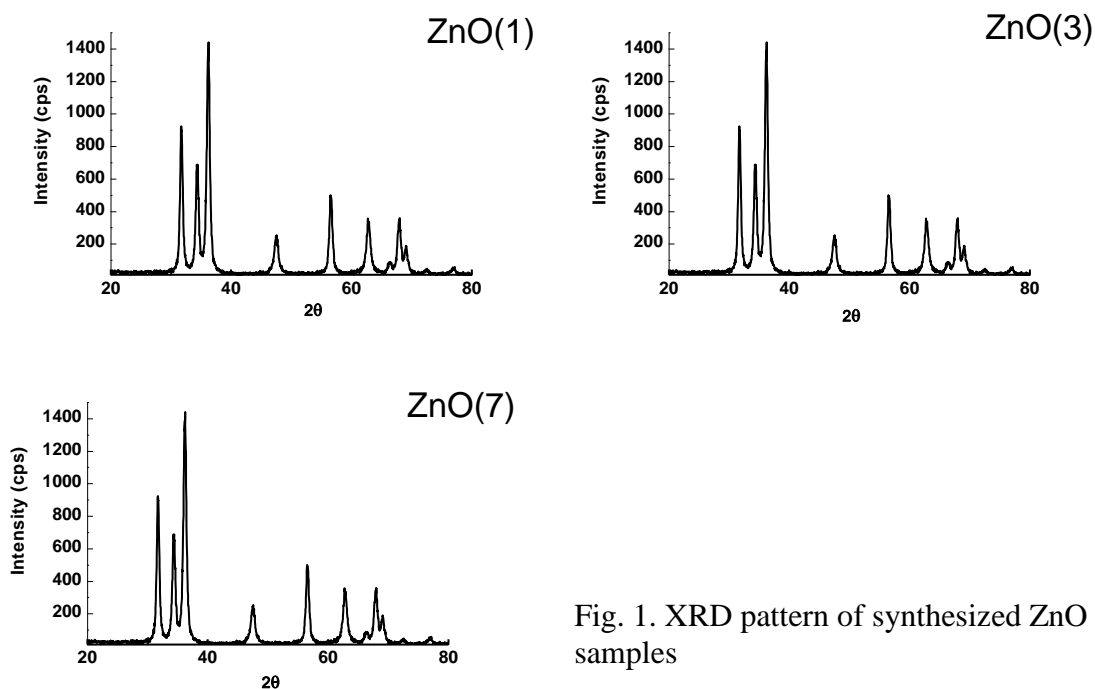


Fig. 1. XRD pattern of synthesized ZnO samples

As shown by further processing of XRD pattern of synthesized ZnO samples, despite the same diffractograms, all three obtained samples have nanoscale but different crystallite sizes (Table. 1). This indicates the effect of aging duration on the size of the obtained particles.

Table 1. Lattice constants of synthesized ZnO₂ samples

Phase	a, Å	b, Å	c, Å	α , deg	β , deg	γ , deg
ZnO	3,25462	3,25462	5,20965	90,0000	90,0000	120,000
ZnO	3,24934	3,24934	5,20987	90,0000	90,0000	120,000
ZnO	3,25024	3,25024	5,21137	90,0000	90,0000	120,000

Література:

1. Wang J., Chen R., Xiang L., Komarneni S. Synthesis, properties and applications of ZnO nanomaterials with oxygen vacancies: A review / *Ceram. Intern.*, 2018. – Vol. 44. – P. 3757-3777.

UDC 54.05

SYNTHESIS OF TIN OXIDE – ACTIVE CARBON NANOCOMPOSITES

Yakymchko M.M., Kurpita A.V., Ivanenko I.M.

Department of Inorganic Substances Technology, Water Treatment and General Chemical Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 4 buid, 37, Prosp. Peremohy, Kyiv 03056, Ukraine. E-mail: irinaivanenko@hotmail.com

SnO₂ has been considered as one of the most promising candidates for anode materials due to its high theoretical capacity of 782 mAh/g, low toxicity, high abundance and safe working potential [1]. Unfortunately, there are two main drawbacks: one is huge volume change of SnO₂ during discharge/charge process, which eventually causes the aggregation and pulverization of SnO₂ with fast capacity fading; the other is poor electronic conductivity of SnO₂, both factors severely hamper the practical usage of the SnO₂ anode for LIBs. To overcome this issue, various SnO₂ nanostructures with large surface area and high surface-to-volume ratio, such as ultrathin nanosheets, nanosheets assembled hollow spheres, nanowires, nanotube arrays, nanorods, and so forth, have been employed to reduce the absolute volume expansion of tin dioxide. However, considerable capacity fading still exists upon cycling due to the breaking down, aggregation and pulverization of these SnO₂ nanostructures [2]. Another effective way to solve the above-mentioned problems is to design composites with SnO₂ and carbon nanomaterials, which not only improve the conductivity but also accommodate the volume change of SnO₂ during cycles [1-2]. For example, CNTs@SnO₂@C was synthesized as coaxial nanocables with higher lithium storage capacities and better cycling performance [3]. SWNTS@SnO₂@PPy was prepared as coaxial nanocables with greatly improving the capacity [4]. SnO₂ nanosheets were grown on graphene sheets with enhanced lithium storage properties [5]. Therefore, carbon has been considered to be a very promising choice as buffering matrix to prevent the broken of SnO₂-based hybrid nanostructures during cycling. However, these means alone only have limited improvement in lithium storage performance of SnO₂-based hybrid nanostructures. Thus, it still exist a huge potential to synthesize and design SnO₂-based hybrid nanostructures with better lithium storage performance.

SnO₂ – active carbon nanocomposites was synthesized by conventional sol-gel method. For this 1.41 g (0.01 mol) of tin (II) chloride dehydrate was dissolved in 60 ml of ethanol and stirred at 60°C for 30 min to obtain solution A. Solution B was prepared by dissolving 2.52 g (0.02 mol) of oxalic acid dehydrate in 80 ml of ethanol and stirred at 50°C for 30 min. Solution B was added to the warm solution A dropwise and continuously stirred for 1 hour. A formed sol was obtained and aged to form a gel, which was dried at 80°C for 24 hour. Finally, SnO₂ was obtained by thermal treatment at calcination temperature 450°C.

Literature:

1. Ahn D.D., Xiao X., Li Y., Sachdev A.K., Park H.W., Yu A., Chen Z. Applying functionalized carbon nanotubes to enhance electrochemical performances of tin oxide composite electrodes for Li-ion battery / *J. Power Sources*, 2012. – Vol. 212. – P. 66-72.
2. Tian Q., Zhang Z., Chen J., Yang L., Hirano S. Carbon nanowires@ultrathin SnO₂ nanosheets@carbon composite and its lithium storage properties / *J. Power Sources*, 2012. – Vol. 246. – P. 587-595.
3. Wu P., Du N., Zhang H., Yu J.X., Yang D.R. CNTs@SnO₂@C coaxial nanocables with highly reversible lithium storage / *J. Phys. Chem. C*, 2010. – Vol. 114. – P. 225357-22538.
4. Zhao Y., Li J., Wang N., Wu C.X., Dong G.F., Guang L.H. Fully reversible conversion between SnO₂ and Sn in SWNTs@SnO₂@PPy coaxial nanocable as high performance anode material for lithium ion batteries / *J. Phys. Chem.*, 2012. – Vol. 116. – P. 18612-18117.
5. Ding S.J., Luan D.Y., Boey F.Y.C., Chen J.S., Lou X.W. SnO₂ nanosheets grown on graphene sheets with enhanced lithium storage properties / *Chem. Commun.*, 2011. – Vol. 47. – P. 7155-7157.

UDC 621.315.592

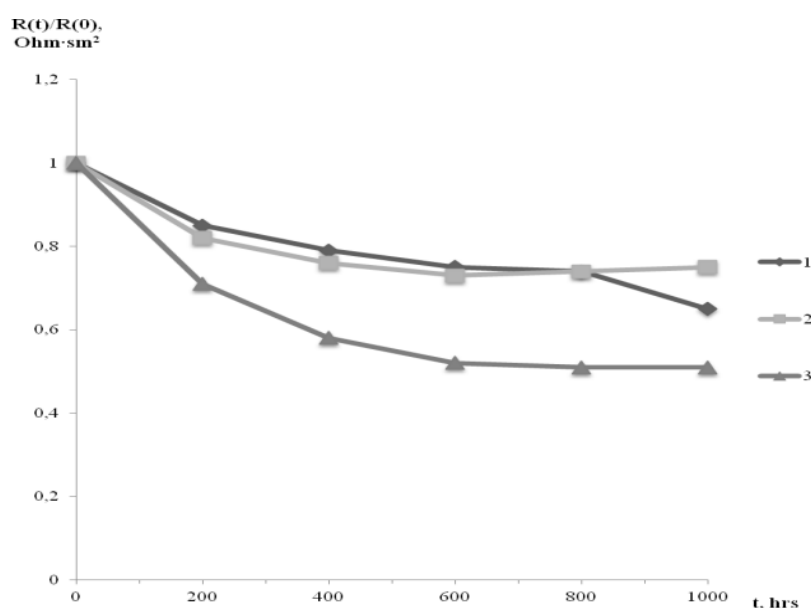
**TECHNOLOGICAL FEATURES OF MANUFACTURING CONTACT SYSTEMS
FOR MICROELECTRONIC DEVICES**

Novikov A.A.¹, Nikonova Z.A.²

¹professor, Kherson National Technical University

²professor, Zaporizhzhya State Engineering Academy, nza@zgia.zp.ua

The technology of production of contact systems Al-Cu-Si is elaborated, their parameters are investigated and their tests are performed. It is proved that the application of such contact systems will increase the efficiency of photoelectric appliances due to simplicity of technological process and cheap materials, that will lead to the reduction of cost price of the product. The authors elaborated the contact system Al-Cu-Si, which is marked by increased stability to electro-migration and which prevents silicon erosion in contact windows simultaneously. The function of the backing was done by silicon plates of nn+ – type with resistivity 0,6-6 Ohm·sm. The plates' diameter was 78 mm, their width - 550 μm.



1 – for Al-Cu-Si; 2 – for Al-Cu; 3 – for Al

Fig. 1 — The dependence of normalized contact resistance on the duration of exposure

On corresponding batches of plates the layers of Al, Al-Cu (2%) Al-Cu (2%) –Si (1%) 0,9 μm thick were pulverized. Immediately before the sedimentation the plates were polished in the solution of HF (concentrated) for 30 seconds, after the etching they were washed in a hot and then in a cold distilled water, in alcohol and dried up in the thermostat. After that the plates were put into the camera of the vacuum pulverization device. The interval between the processings and loadings of the camera was 20 minutes. After the formation of the adjusted topology of metallization, the plates were exposed to nitrogen burning with the temperature of 500°C during 10 minutes and the protective coat of SiO₂ of 0,9 μm thick was applied. It was followed by the oxide removal from the excretive grounds and the splitting into separate crystals was completed. The quality test of instrument structures was held by means of measuring of contact resistance of contact systems. The amount of resistivity ρ for contacts Al-Cu-Si was $(0,7-1,42) \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}\cdot\text{sm}^2$.

For quality tests of contact systems the authors investigated the dependence of contact resistance in the temperature of 140°C. Produced structures were being exposed to this temperature for 1000 hours. The contact resistance was measured after 200, 400, 700 and 1000 hours of exposure.

The dependence of normalized contact resistance $R(t)/R(0)$ on the duration of exposure for Al-Cu-Si (graph 1), Al-Cu (graph 2) and Al (graph 3) metallization is provided in the Fig/ 1.

УДК 621.315.592.3; 538.9

СТРУКТУРНА ПЕРЕБУДОВА МІКРОКЛАСТЕРІВ КРЕМНІЮ ПІДЧАС ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛА

Головко О.К.¹, Левінзон Д.І.², Хрипко С.Л.³

¹ORCID: 0000-0002-0647-9935, аспірант, кафедра МЕІС, Запорізька державна інженерна академія, akgolovko@gmail.com

²ORCID: 0000-0002-0647-9935, д.т.н., професор, кафедра МЕІС, Запорізька державна інженерна академія, e-mail: levdavid@ukr.net

³ORCID: 0000-0002-0647-9935, д.т.н., професор, кафедра МЕІС, Запорізька державна інженерна академія, e-mail: ur9qq@ukr.net

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя,

Анотація: Запропонована та досліджена імовірнісна модель розподілу мікрокластерів у формі ланцюжків з ковалентними міжатомними зв'язками в розплаві кремнію. Показано, що при температурах біля $T = 1688 \text{ K}$ в процесі вирощування монокристал кремнію в розплаві поблизу фронту кристалізації відбувається безперервна структурна перебудова, а саме змінюється немонотонно ентропія двох- та трьохатомних мікрокластерів. Отримані результати мають практичне значення для розробки технології виготовлення монокристалів та наноструктур одноатомних напівпровідників для електронної техніки.

Ключові слова: кремній, розплав, мікрокластер, атомний ланцюжок, щільність ймовірностей, ентропія.

Annotation: The probabilistic model of distribution in silicon melt of microclusters in the form of chains with covalently interatomic bonds is proposed and investigated. It is shown that at temperatures near $T = 1688 \text{ K}$ in the process of silicon single-crystal growing in the melt near crystallization front there is continuous structural alteration, namely entropy of two- and three-atomic microclusters is not monotonically changing. The obtained results have a practical value for development of technology of making of monoatomic semiconductors' single-crystals and nanostructures for electronic technique.

Keywords: silicon, melt, microcluster, nuclear chain, density of probabilities, entropy.

Поглиблення уявлень про структурні аспекти кристалізації елементарних

напівпровідників з розплаву є актуальним для удосконалення процесів вирощування їхніх монокристалів, аморфних плівок та наноструктур.

В даній роботі досліджені процеси на атомному рівні, що відбуваються в розплаві кремнію підчас вирощування монокристала за методом Чохральського.

За результатами деяких експериментальних досліджень властивостей розплаву кремнію [1] його можна розглядати як розчин кластерів з ковалентними зв'язками в атомарній матриці з металевими зв'язками. За такою гіпотезою розробляємо модель розподілу за розмірами таких мікрокластерів за гамма-розподілом:

$$f(N) = \frac{N^{\alpha-1}}{F(\alpha) \cdot \theta^\alpha \cdot \exp\left(\frac{N}{\theta}\right)}, \quad (1)$$

де $F(\alpha) = \int_0^\infty N^{\alpha-1} \exp(-N) dN$ – гамма-функція від аргументу α ; $\alpha > 1$ – параметр форми; θ

– параметр масштабу. Щоб Γ -розподіл описував саме структуру розплаву кремнію, його параметри форми α і масштабу θ обираємо функціями від структурно дуже чутливих властивостей цього розплаву:

$$\alpha = \frac{\eta(T)}{\eta(T_{\text{кин}})}, \quad \theta = \frac{d(T)}{d(T_{\text{кин}})} + \frac{d(T_{\text{пл}}) - d(T_{\text{кин}})}{d(T_{\text{кин}})} \quad (2)$$

де η – динамічна в'язкість розплаву, Н·сек·м⁻²; d – густина розплаву, кг·м⁻³; T – температура, К; T_n – температура його плавлення, К; $T_{\text{кин}}$ – температура кипіння розплаву, К.

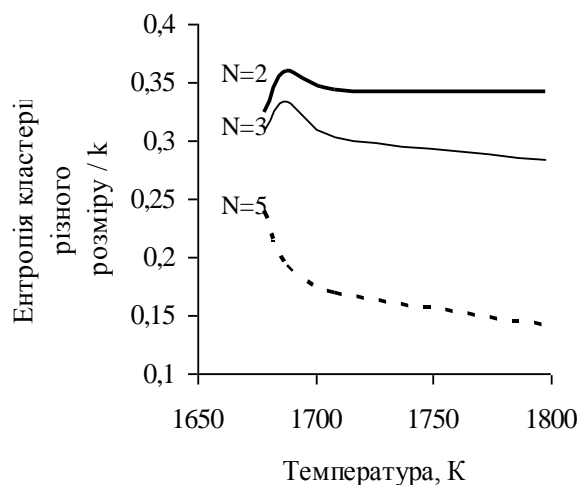
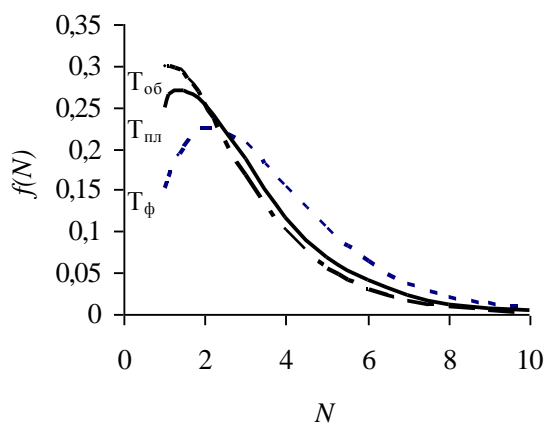


Рис. 1 - Щільність ймовірностей розподілу кластерів в формі атомних ланцюжків в розплаві кремнію за кількістю атомів при різних температурах розплаву кремнію: $T_{\text{ф}}$ - на фронті кристалізації; $T_{\text{п}}$ - в точці плавлення; $T_{\text{об}}$ - в об'ємі тигля

Рис. 2 - Температурна залежність ентропії сукупності мікрокластерів певного розміру в розплаві кремнію: двох-атомних ($N=2$); трьох-атомних ($N=3$); ланцюжків з 5-и атомів ($N=5$)

За моделями (1) і (2) розрахована функція розподілу щільності ймовірностей мікрокластерів в розплаві кремнію по кількості атомів (рис. 1). для температур, характерних для практики вирощування монокристалів з розплаву за методом Чохральського: точка плавлення кремнію $T_n = 1688$ К, температура на фронті кристалізації $T_{\text{ф}} = (T_n - 10)$ К = 1678 К, температура в об'ємі кварцового тигля $T_{\text{об}} = (T_n + 20)$ К = 1708 К.

Для розрахунку ентропії S системи мікрокластерів використовуємо загальне визначення ентропії Больцмана у вигляді

$$S_{\text{класт.сист.}}(N) = -k \int_0^{\infty} f(N) \ln f(N) dN, \quad (3)$$

де k – константа Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж·К⁻¹.

Виявлено, що ентропія мікрокластерів різних розмірів змінюється зі зростанням температури не однаково (рис. 2). Це свідчить про протікання складних процесів перебудови структури розплаву кремнію поблизу фронту кристалізації під час вирощування монокристалів за методом Чохральського.

Отримані результати мають практичне значення для розробки технології виготовлення монокристалів та наноструктур одноатомних напівпровідників для фотовольтаїки.

Література:

1. Golovko O.K., Khrypko S.L. Entropy of cluster system in silicon melt // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2018. – Vol. 10. № 2. – P. 02015-1–02015-5.

УДК 621.382

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЛЕГУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ НА ЯКІСТЬ КРЕМНІЄВИХ ПРИЛАДОВИХ СТРУКТУР

Небеснюк О.Ю.¹, Солодовник А.І.²

¹к.т.н., доцент, Запорізька державна інженерна академія, кафедра МЕІС, 0811oksana@gmail.com

²директор ТОВ «Елемент- Перетворювач»

Використання термічних обробок у технології одержання кремнієвих приладових структур підвищеної якості потребує все більшої уваги в зв'язку з потребами мікроелектроніки. Проблема легування напівпровідникових матеріалів відповідними добавками є ефективним засобом контролювання зміни їх властивостей.

Актуальною проблемою є вивчення механізму розчинності та характеру його зміни в процесі температурної обробки, що дозволяє не тільки правильно вибрати можливу межу легування тією чи іншою домішкою, а й визначити ті зміни у властивостях напівпровідника, легованого цією домішкою, які можуть мати місце при його термообробці.

Більшість напівпровідникових приладів не працюють за підвищеної температури, коли помітну роль починають відігравати власні носії заряду. У зв'язку з цим для збільшення верхньої температурної межі роботи напівпровідникового приладу необхідно використовувати матеріали із значною шириною забороненої зони. У робочому режимі таких напівпровідників електропровідність забезпечується за рахунок спеціально введених у матеріал легуючих елементів, тому профіль розподілу домішки є важливою характеристикою одержуваних високолегованих шарів до приладових структур.

Остаточне формування перехідної області відбувається під час зростання шару, тому група ростових факторів вважається найбільш важливою. Експериментально перед осадженням проводилась високотемпературна обробка (відпалювання, травлення кремнієвої пластини), під час якого відбувається випарювання домішки з поверхні підкладки та її перерозподіл. За таким способом високолегований шар осаджується вже не на однорідну леговану підкладку. Таким чином особливий інтерес має розгляд безпосереднього зв'язку характеристик процесу зростання та структури перехідної області

Під час дослідження профілів розподілу домішки в кремнієвій приладовій структурі авторами експериментально встановлено, що розподіл легуючої домішки здійснюється у поверхневому шарі товщиною від 0 до 80 мкм. При збільшенні тривалості осадження та травлення плівки процес легування відбувається більш інтенсивніше. Відстань, що

відлічується від межі розділу «кристал-газова фаза» та яка дорівнює 20 мкм, характеризується більшою недостатністю легуючої домішки.

Для оцінки профілів розподілу домішки недостатньо графічного відображення, а необхідно провести статистичну обробку одержаних результатів, що можуть пояснити деякі моменти під час дослідження процесів захоплення легуючої домішки в процесі легування кремнію межею розділу. Для моделювання процесу авторами розроблено спеціальну програму у математичному пакеті «Mathcad».

УДК 681.7.084/.085:535.3

МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КОМПОНЕНТІВ МІКРО- ТА НАНОЕЛЕКТРОНІКИ

Кузько А.К., О.Ю. Небеснюк¹

¹доц., к.т.н., Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

Сучасна мікроелектроніка містить велику кількість елементів, з'єднаних між собою у відповідності до принципової електричної схеми, що забезпечує необхідну обробку електричних сигналів. Елементи мікроелектроніки діляться на дві групи: активні і пасивні. До пасивних елементів відносяться резистори, конденсатори, катушки індуктивності, трансформатори, кварцові резонатори та ін. Ці компоненти не здатні підсилювати сигнали, але можуть перетворювати їх. Значна роль належить саме активним компонентам. До них відносяться діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми та ін. Такі компоненти здатні перетворювати електричні сигнали і підсилювати їх.

Відомо, що складовою частиною виробничого контролю якості напівпровідникових приладів та ІМС, є вимір їх параметрів і перевірка на функціонування. Цей контроль виконується на завершальних стадіях виготовлення виробів (при складанні, герметизації), а також при випробуваннях, дослідженнях відмов і застосуванні в апаратурі. Основними вимогами, які пред'являються до контрольно-вимірювальних операцій, є висока точність, достовірність і відтворюваність результатів.

На сьогодні для контролю статичних та динамічних параметрів широко використовуються автоматичні вимірювальні системи на основі ЕОМ, в яку вводиться спеціальна програма. За цією програмою ЕОМ управляє вимірювальним процесом, тобто задає електричні режими на виводи напівпровідникового приладу або ІМС, визначає значення електричних параметрів, оцінює контрольовані вироби на відповідність вимогам технічних умов (ТУ).

Аналіз причин виникнення помилок в процесі вимірювань показав необхідність врахування порушень в роботі вимірювального обладнання і помилок оператора, а також помилок в проектуванні напівпровідникових приладів або ІМС, які зустрічаються порівняно рідко і зазвичай виявляються до початку виробництва.

Встановлено, що залежно від призначення контрольно-вимірювальної операції склад обладнання може змінюватися. Чим складніше вимірювальне обладнання, чим більше блоків входить в нього, тим більша ймовірність незначного порушення або відмови в роботі всієї системи. Порушення роботи вимірювального обладнання можуть викликати такі зовнішні фактори, як великі викиди струмів в ланцюгах живлення при виключенні або включенні потужних електроустановок, а також короткі замикання і несправності цих ланцюгів, неправильне заземлення, збудження електричного і магнітного полів і ін. Для захисту обладнання від впливу зовнішніх факторів використовують різні види заземлення, екранування, плавкі запобіжники та ін.

Крім того, надійність роботи вимірювального обладнання залежить від низки внутрішніх причин. Виявити відмови устаткування, що викликаються цими причинами, не завжди можливо. Часто помилки в роботі обладнання залишаються непоміченими, так як порушення всередині нього може і не приводити до значних відхилень у процесі

вимірювань. Помилки вимірювального обладнання можна звести до мінімуму його удосконаленням, підвищенням надійності, автоматизацією всіх операцій, введенням систематичних перевірок правильності роботи (атестацією). Авторами запропонована функціональна схема та модель установки для контролю параметрів компонентів радіоапаратури, яка відзначається простотою виготовлення, точністю вимірювання та надійністю в експлуатації.

UDC 621.315.592

THE IMPACT OF THE METHOD OF UNDERLAY SURFACE PROCESSING ON THE DEVELOPMENT OF DEFECTS IN EPITAXIAL COMPOSITIONS

Levinson D.I.¹, Zahoda O.O.², Nikonova Z.A.³

¹professor, Zaporozhye State Engineering Academy,

²postgraduate student, Zaporozhye State Engineering Academy,

³professor, Zaporozhye State Engineering Academy, nza@zgia.zp.ua

One of the main parameters characterizing the quality of EC is the density of dislocation and other structural defects. Great impact on the development of defects during epitaxial growth is produced by the quality of underlay preparation before that. Multiple research of relatively thin (less than 20-30 microns) epitaxial layers [2,3] demonstrated, that contamination or damages of underlay surface cause the development of defects of wrapping, counterparts, macroscopic protuberances in the growing layer. Therefore in inverted epitaxy it is the problem of the development in the course of defects growth not in epitaxial layer, but in underlay, that becomes the major one. The processes of the development of defects in underlay in the course of growing thick (approximately 300 microns) epitaxial layer are scarcely researched by now. Scientists sustained the idea that when using dislocation-free underlays for growing in the working layer of ISS there are dislocations with the density of 10^3 sm^{-2} and more.

Underlays underwent various methods of operator side surface (on which the growth took place) processing: chemical mechanical polishing (CMP) with 1-2 mcm and 20 mcm of removed layer, mechanical polishing (MP) with diamond paste with abrasive grit of 1,0 mcm and 0,5 mcm. Methods of processing of rear underlay sides were also different: chemical mechanical polishing, grinding, gettering – grinding with loose abrasive followed by shallow mechanical polishing. After growing the ISS were ground and polished both sides with CMP method to get 80 mcm of operator side of underlay and 170-180 mcm of grown layer side.

It was proved that in all examined ISSs operator layer contains dislocations, which density lies in the interval of $3 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^3 \text{ sm}^{-2}$, thus worked-out technology of growing will ensure relatively high level of structural perfection of ISS. Nevertheless there is still a potential for further improvement of ISS quality, one of them being, as it is obvious from the Table 1, the improvement of the way of mechanical processing of underlays surface. In the cases when operator side of an underlay underwent chemical mechanical polishing, the density of dislocations in underlay after growing was in average lower compared to one after mechanical polishing. The exception is underlays with ground rear side. The best results were obtained by the authors in the course of CMP method application with enlarged to 20 mcm width of removed layer of $3 \cdot 10^2 \text{ sm}^{-2}$.

The empirical results obtained leads to the conclusion that it is advisable to apply dislocation-free underlays without micro-defects stripes of A-type for the production of PhT on EC basis with low density of dislocations. Under all equal conditions the best quality of EC is achieved by means of thorough chemical-mechanical polishing of operational side of underlay and gettering of the rear side.

Literature:

1. Lin Jyi-Tsong. (2010), A novel planar-type body connected FinFET device fabricated by self-align isolation-last process, Solid-State and Integrated Circuit Technology. PP. 1235 - 1237.

2. V.V. Odinkov, G.Ya. Pavlov. (2011), New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics, Technology and de-signing in the electronic equipment. v.3. PP. 41 - 43.

3. D.I. Levinson, A. Nikonov, O. Nebesnyuk. (2013), Modeling the distribution of impurities in the preparation of heavily instrumental silicon layers using high-energy treatment, Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development 2013» v. J21310.

УДК 681.7.084/.085:535.3

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВОК

Пішуков С.В., Мазур Д.М., Ніконова З.А.*

*к.т.н., професор, Запорізька державна інженерна академія, nza@zgia.zp.ua

Відомо, що виготовлення високоякісних плівок з заданими і відтворюваними параметрами зумовлює необхідність суворого контролю при їх нанесенні. В залежності від призначення плівок зазвичай визначаються методи їх контролю і контролюються один або два параметри.

Аналіз методів контролю параметрів нанорозмірних плівок та елементів показав, що їх якість також визначається товщиною нанесених плівок (від декількох десятків до сотень нанометрів).

До основних способів вимірювання та контролю відносяться такі параметри плівок, як товщина, електричний опір, адгезія і найважливіший технологічний режим — швидкість нанесення.

Товщина плівок вимірюється такими найбільш поширеними методами, як мікрозважування, і багатоприменна інтерферометрія. Метод мікрозважування, в основному, використовується у виробництві гібридних ІМС, який полягає у визначенні приросту маси.

Метод багатоприменної інтерферометрії, що застосовується для вимірювання товщини непрозорих плівок, оснований на спостереженні інтерференційних смуг за допомогою мікроскопу, що виникають при розгляді в монохроматичному світлі двох поверхонь, розташованих під кутом один до одного.

Доведено авторами, що точність вимірювання товщини тонких металевих та діелектричних плівок в інтервалі від 10 нм до 5 мкм становить $\pm 10\%$.

Найбільш поширений контроль швидкості нанесення плівок є метод кварцового датчика, який іноді називають резонансно-частотним. Принцип дії кварцового датчика оснований на залежності частоти генерованих сигналів від зміни маси кварцового елемента при нанесенні на його поверхню плівки. Зі збільшенням маси кварцового елемента його резонансна частота падає. Таким чином, за зміною швидкості (зсуву) резонансної частоти визначається швидкість росту плівки.

Електричний опір плівок вимірювався резистивним датчиком із зовнішнім вимірювальним приладом. В основному цей метод застосовується для контролю на стадії виготовлення резисторів гібридних ІМС, і він оснований на тому, що у міру потовщення плівки в процесі росту опір її зменшується.

Це дозволяє безпосередньо при нанесенні контролювати опір плівки, а при досягненні номінальної її товщини зупинити процес.

Зчеплення (прилипання) поверхонь різномірних тіл називають адгезією. Адгезія плівки до підкладки залежить від матеріалу плівки та швидкості її осадження, а також від чистоти поверхні і температури підкладки.

Авторами встановлено, що на сьогодні не існує доступних промислових методів високоточного вимірювання адгезії тонких плівок до підкладки. Тому виконувався

порівняльний контроль, при якому вимірювалось зусилля відриву плівки від підкладки припаяним на її поверхню металевим циліндром.

Для отримання якісних нанорозмірних плівок пропонуємо використовувати всі описані авторами методи контролю параметрів, які застосовувалися при проведенні експериментальних досліджень.

ОПТИМІЗАЦІЯ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ НА КРЕМНІЄВИХ СТРУКТУРАХ

Grebenuk E.A.¹, Васильєва І.К.², Ніконова З.А.²

¹Varshavsky Polytechnic University

²проф., к.т.н., Запорізька державна інженерна академія, nza@zgia.zp.ua

Сучасні мікроелектронні прилади та пристрої, що використовуються в різних сферах життєдіяльності людини, фактично не можуть працювати без систем живлення. Системи живлення, як правило, це батареї, акумулятори, зарядні пристрої та ін.

Особливі вимоги зростають до бортових систем космічних апаратів. Це призводить до необхідності використання нових матеріалів та компонентів, що володіють більш високими енергетичними й експлуатаційними характеристиками. Основні з них – підвищення ККД, збільшення ресурсу їх експлуатації, в умовах підвищеної радіації й можливості їх функціонування при високій концентрації сонячного випромінювання. Системи живлення у космічних апаратах до 80% виготовлені на основі кремнієвих, а 20% з GaAs-структур.

Для виготовлення наземних приладів мікро- та наноелектроніки найбільш придатними вважаються напівпровідники Si, CdTe, GaAs, InP. Низька вартість кремнію є визначальною при виборі матеріалу для їх виготовлення. Актуальним є питання підбору режимів виготовлення сонячних елементів та використання нових компонентів при створенні систем живлення, що дасть змогу правильно розрахувати їх потужність для досягнення максимальної ефективності роботи.

Авторами розроблена модель системи живлення на кремнієвих сонячних елементах, принципова схема якої представлена на рис. 1.

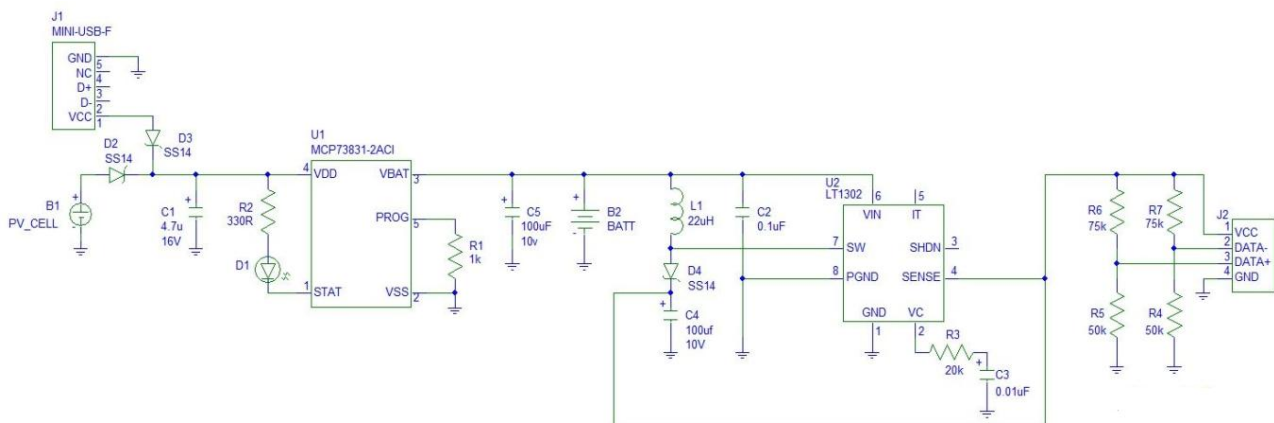


Рисунок 1 – Принципова схема системи живлення на кремнієвих сонячних елементах

Вона може бути заряджена від електромережі, а вбудовані кремнієві сонячні елементи сприяють підтримці максимального рівня заряду акумуляторної батареї і складається з зарядного пристрою та перетворювача. Мікроконтролер MCP73831 виконує роль зарядного пристрою. Ця мікросхема є лінійним контролером управління заряду Li-Po акумуляторної батареї. Контролер має можливість заряджати акумуляторну батарею до 5 В у повністю безпечному режимі. До мікросхеми підключено індикатор, який буде горіти протягом усього процесу заряду. Як перетворювач, запропонована мікросхема LT1302-5, що підвищує напругу акумуляторної батареї від 4 В до 5 В. Її вхідна напруга може бути від 2 В.

Переваги такої системи полягають у збереженні внутрішнього та навколишнього середовища, оскільки вони не виділяють шкідливих речовин при експлуатації.

МІКРОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МОН-ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

Хрипко С.Л.¹, Похиленко О.В.²

¹ORCID: 0000-0002-0647-9935, Запорізька державна інженерна академія, кафедра МЕІС, професор, e-mail: ur9qq@ukr.net,

²Запорізька державна інженерна академія, кафедра МЕІС, магістрант, e-mail: pohil_2102@i.ua

Анотація: Виявлено зв'язок між видами випробувань і дефектами, що проявляються при певному випробуванні, що дозволить підбирати потрібну програму випробувань.

Синусоїдальний режим проведення електротермотренування КМОН інтегральних схем, спрощує оснащення і пристосування, дозволяє розмістити більшу кількість приладів в камері тепла.

Ключові слова: мікроелектронна система, електротермотренування, КМОН інтегральні схеми

Annotation: The connection between the types of tests and defects, which are shown at a certain test, that will allow to choose the necessary test program is revealed.

The sinusoidal mode of conducting electrometrating of the CMS of integrated circuits, simplifies the equipment and adaptation, allows you to place more devices in the heat chamber.

Key words: microelectronic system, electro-surveying, CMS integrated circuits

Надійність є одним з основних властивостей якості приладів.

Актуальність роботи полягає в удосконаленні автоматизованої системи управління якістю МОН інтегральних схем, з метою підвищення надійності як самих приладів, так і пристроїв на їх основі.

Цифрові інтегральні схеми серії 564 призначені для перетворення і обробки сигналів, що змінюються за законом дискретної, наприклад, двійкової функції. Вони застосовуються для побудови електронно-обчислювальних машин, а також цифрових вузлів вимірювальних приладів, апаратури автоматичного управління, зв'язку та ін.

Метою роботи є підвищення якості МОН інтегральних схем для електроніки в процесі виробництва, шляхом вдосконалення методики електротермотренування, а саме введення додаткових контрольних операцій в технологію збирання інтегральних схем (ІС).

Найбільш ефективним методом виявлення виробів з прихованими дефектами є випробування мікросхем при одночасному впливі температури і електричного режиму. При цьому використовуються критичні впливи, визначені технічними умовами.

Електротермотренування (ЕТТ) є випробування мікросхем при комплексній дії температури і електричного режиму, що імітує найгірші умови їх застосування. Основним режимом вважається проведення ЕТТ при температурі $T = 125^{\circ}\text{C}$ протягом 168 годин.

На підставі отриманих результатів обрано синусоїдальний електричний режим ЕТТ, як найбільш ефективний щодо відбракування потенційно ненадійних мікросхем.

Для випробування ІМС564ЛА7 застосовують мікроелектронна система для електротермотренування спільно з камерою тепла.

У складі мікроелектронної системи застосовується камера тепла, на яку здійснюється:

- а) подача напруги на камеру тепла;
- б) завдання температурних режимів в камері тепла.

Основні технічні дані і характеристики камери тепла.

1. Діапазон робочих температур від 55°C до 160°C .
2. Кількість камер - 1.
3. Кількість завантажуваних плат - 60.
4. Швидкість зміни температури при виході камери на режим не менш 2°C в хвилину.
5. Тиск води, що подається в камеру тепла до $5 \cdot 10^5$ Па.

Камера тепла дозволяє проводити випробування ІМС при підвищених температурах. Прилади в спеціальних платах поміщають в робочий об'єм камери. Нагрівання робочого об'єму проводиться двома нагрівачами. Для рівномірного розподілу температури по робочому об'єму, застосований трубчастий теплообмінник. Для перемішування повітря в камері є вентилятор, який встановлений в нижній частині між двома відсіками камери. Вентилятор всмоктує повітря з внутрішньої камери і подає його між відсіками в верхню частину. Повітря розсіюється спеціально встановленим листом з отворами і надходить в робочий об'єм камери.

У верхній частині теплообмінника є колектор, який служить для поліпшення роботи всього нагрівача. У разі перевищення заданої температури в камері, колектор виконує функцію відводу тепла шляхом пропуску через нього води, витрата якої визначається по ротаметру.

Всі вузли камери змонтовані в металевому звареному каркасі. Для завантаження плат в камері є спеціальні напрямні, за якими плати підключають до гнізда на задній стінці камери. Через роз'єми зі стійок надходить електричний струм в період роботи стенда.

У роботі розроблена мікроелектронна система та проведена статистична обробка результатів вимірювання вхідних струмів п'яти партій, поставлених на тижневі випробування. Виміри проведені до і після випробувань.

В результаті проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

- введення чотирьох точок контролю в технологію збирання ІС дозволяє виключити більшу частину відмов в початковий період експлуатації ІС;
- нова методика ЕТТ з синусоїдальним електричним режимом ефективніше класичної, що підтверджують результати експерименту;
- розроблена система вибіркового електротермотренувань (щотижневих, щомісячних, щоквартальних) підвищує якість і надійність мікросхем.

Виявлено зв'язок між видами випробувань і дефектами, що проявляються при певному випробуванні, що дозволить підбирати потрібну програму випробувань.

Синусоїдальний режим проведення електротермотренування КМОН інтегральних схем, спрощує оснащення і пристосування, дозволяє розмістити більшу кількість приладів в камері тепла.

Відпрацьована схема управління якістю та надійністю в процесі виробництва, рекомендується до впровадження на підприємствах з налагодженим технічним процесом виготовлення приладів, призначених для пристроїв електроніки.

Література:

1. Зарубіжна електронна техніка. Науково-технічний збірник / ЦНДІ "Електроніка" - №1,2. - М., 1995. - 60с.
2. Електроніка. Науково-технічний збірник: Пер. з англ. - М.: Світ, 1993.-120с.
3. Мікросхеми та їх застосування. Довідковий посібник: - М.: Радио и связь, 1989. - 460с.
4. Чернишов А.А. Основи надійності напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем. - М.: Радио и связь, 1982. - 255с.
5. Єфімов І.Є., Кальмон І.Г., Мартинов В.І. Надійність твердих інтегральних схем. - М.: Видавництво стандартів, 1989. - 215с.
6. Колді Я.К. Практикум з теорії ймовірності та математичної статистики. - М.: Вища. шк., 1991. - 157с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОЗАСЛОННОГО КОМБІНОВАНОГО ТРАНЗИСТОРА

Кісельов Є.М.

Запорізька державна інженерна академія, кафедра мікроелектронних інформаційних систем, доцент, ORCID: 0000-0001-5844-7268, e-mail: egor@zgia.zp.ua

Анотація: Запропоновано структуру комбінованого транзистора, що відрізняється наявністю двох протилежно розташованих польових електродів. Проведені дослідження приладу показали, що у порівнянні з однозаслонним прототипом, крутість передавальної характеристики збільшується в 2 рази і становить 0,3 мА/В.

Ключові слова: заслон, моделювання, підсилення, датчик

Annotation: The structure of the combined transistor, which differs by the presence of two oppositely located field electrodes, is proposed. The investigation of this device showed that in comparison with single-gate prototype, the transduction characteristic slope is increased by twice and is 0.3 mA / V.

Key words: blocking, simulation, amplification, sensor

Сучасні датчики характеризуються використанням активних твердотільних структур для реалізації функцій управління і попередньої обробки вимірювальних сигналів. На основі цього у [1] запропоновано низку датчиків, що містять комбіновану транзисторну структуру [2]. Тому актуальним є завдання з розширення можливостей такого приладу за допомогою додаткових конструктивних рішень.

З метою забезпечення додаткового керування вихідним струмом комбінованого транзистора пропонується створення додаткового заслону з протилежного боку від основного. Таким чином, новий прилад, окрім зовнішніх електродів бази емітера, колектора, характеризується наявністю двох симетрично протилежних заслонів і, в залежності від їх зовнішньої комутації, має додаткові можливості з обробки вхідних сигналів.

Дослідження запропонованого транзистора виконувались шляхом змішаного – фізико-топологічного і схематехнічного моделювання, результати якого у вигляді передавальних характеристик наведені на рис. При цьому обидва заслони транзистора були електрично поєднані одне з одним.

Результати моделювання показують, що у порівнянні з однозаслонним прототипом, крутість передавальної характеристики збільшується в 2 рази і становить 0,3 мА/В. Тобто коефіцієнт підсилення за напругою транзистора зростає, що при використанні його у складі датчиків підвищує рівень вихідних сигналів.

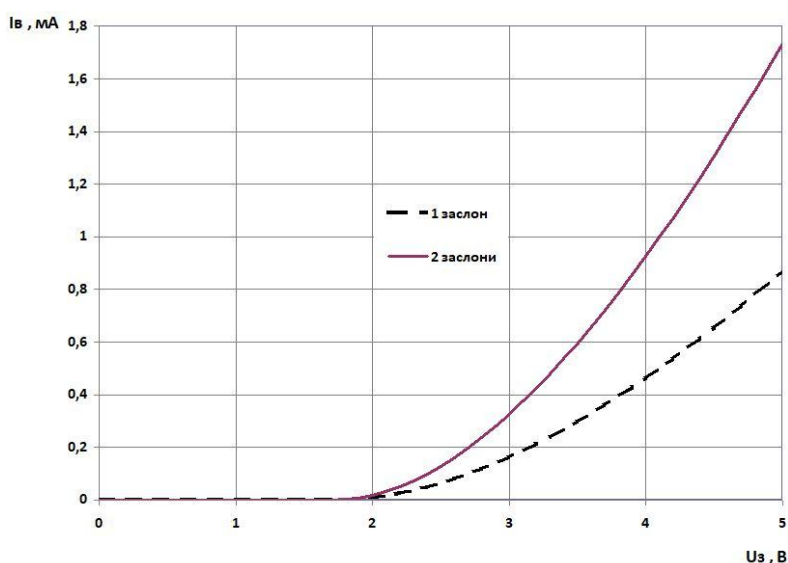


Рисунок – Передавальні характеристики двозаслонного транзистора

Проте можливо використання комбінованого транзистора у режимі роботи з незалежними заслонами. Якщо вхідний сигнал діє на першому заслоні і має складову, яку зумовлено дією зовнішніх дестабілізуючих факторів (зміни температури навколишнього середовища, атмосферного тиску та інш.), поданням на другий заслон різниці потенціалів, без інформаційної складової, можливо отримати вихідний сигнал без зовнішніх перешкод. Таким чином, у транзисторі на фізичному рівні реалізується функція диференційного каскаду підсилення.

На основі двозаслонного транзистора у [3] запропоновано піроелектричні ПЧ – датчики з активним і коригуючим перетворювачами з підвищеною точністю визначення інтенсивності випромінювання.

Література:

1. Киселев, Е. Н. Моделирование характеристик комбинированной транзисторной структуры // Е. Н. Киселев, В. Л. Костенко / Сб. науч. трудов ЗГИА «Состояние, проблемы и направления развития производства цветных металлов в Украине» – Запорожье, 1997, – с. 352 - 357.

2. Костенко, В. Л. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур // В. Л. Костенко, Е. Я. Швец, Е. Н. Киселев, Н. А. Омельчук / – Запорожье, издательство ЗГИА, 2001, – 106 с. ISBN 966-7101-36-3

3. Кісельов, Є. М. Датчик ПЧ – випромінювання на основі двозаслонного комбінованого транзистора / Є. М. Кісельов, А. В. Таранець // Матеріали III Всеукраїнської науково – практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», 11–12 жовтня 2018 р. – Луцьк: ЛНТУ, 2018. – с. 28 – 29.

UDC 621.382

GaN CLUSTERS OBTAINED BY THE METHOD OF RADICAL-BEAM EPITAXY ON POROUS GaAs

Simchenko S.V.¹, Rogozin I.V.², Kayki M.M

¹Center for youth creativity. Department of Radio Electronics, Berdyansk., head of the Department of Radio Electronics, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, sstehology85@gmail.com

² Berdyansk State Pedagogical University, associate Professor, candidate of Physical and Mathematical Sciences.

Annotation: This paper proposes an original method for producing gallium nitride clusters on substrates of nanoporous gallium arsenide by annealing the substrate in an atmosphere of nitrogen radicals. The porous surface of GaAs was obtained by electrochemical etching. The chemical composition of the surface was studied by the method of energy dispersive analysis of X-rays (EDAX), the morphology and photoluminescence in the visible spectral range of the obtained structures were also studied. It is shown that the photoluminescent properties of GaN clusters depend on the porosity of the GaAs substrate and the geometric dimensions of the formed clusters.

Key words: Electrochemical etching, Porous gallium arsenide, Molecular beam epitaxy, Clusters of GaN.

The study of the electrical and optical properties of semiconductor compounds AIII BV groups that constitute prospective basis of modern semiconductor electronics and optoelectronics opens the possibility of using these materials for practical purposes (creation of sensitive sensors, light-emitting devices, electronic devices, and others. [1-2].

For the growth of films such structures using methods of molecular beam epitaxy and vapor phase epitaxy from organometallic compounds [3-4].

This paper presents a method of producing light-emitting clusters of GaN on substrates of porous gallium arsenide (GaAs).

The initial samples taken monocrystals n-GaAs (111) doped with silicon (concentration of majority carriers 10^{17} - 10^{18} sm⁻³). The porous layer was obtained by electrochemical etching in a 55% alcoholic solution of hydrofluoric acid. A solution was prepared according to the following formula: HF: C₂H₅OH = 1: 1 (by volume). The degree of porosity of the GaAs surface was varied from 25 to 55 percent (at a current density of 50 - 90 mA /cm²), the etching time was 10-15 min.

The process of nitridation took place in three stages, consisting of cycles of heating-cooling to 300 K (400, 450, 500 K) in atmosphere of atomic-molecular mixtures of NH₃ (gas purity 99.999). The duration of each cycle is 20 minutes. The sample temperature was monitored by a thermocouple chromel-alumel, the flow of the nitrogen atoms in the sample were recorded using platinum isothermal micro calorimeter.

The process of nitridation of GaAs and GaN growth occurs mainly by a diffusion mechanism. Physical and mathematical model of the process is reduced to the diffusion of a chemical element with the gas phase to the volume of the crystal. The model is described by the Fick equation, based on the mass balance of the law.

The formation of GaN clusters was controlled by the luminescence method, the surface morphology was examined by scanning electron microscopy (PEM-109), the chemical composition was controlled by the EDAX method.

When removing the photoluminescence spectra of the sample used a monochromator aperture ZMR-3 and photomultiplier FEU-100. Excitation of the sample was carried out using a mercury lamp with an interference filter (365nm) spectra were recorded at temperature sample 300K. Fixed appearance of two maxima of distinct luminescence ~380nm and ~717nm.

Maximum attributable to the UV region, it is typical of GaN and responsible energy bound excitons in hexagonal phase [5].

The observed red FL, apparently due to radiative recombination in the nanocrystals of GaAs, protruding to the surface [6].

It was established experimentally that the brightest clusters have PL GaN grown on porous GaAs with a porosity of 45-50%. PL intensity hardly decreases after several cycles of heating-cooling (450-300K) of the sample in air, which opens up prospects for the use of clusters for manufacturing GaN light-emitting subminiature and optoelectronic devices.

Literature:

1. Christophersen M., Langa S., Carstensen J., Tiginyanu I. Comparison of pores in silicon and pores in III-V compound materials / Phys. Stat. Sol. (a). 2003. V.197, №1. P.197-203.
2. S.Nakamura, S.Nagahama, N.Iwasa, T.Yamada, T.Matsushita, H.Kiyoku, Y.Sugimoto. Appl. Phys. Lett., 68, 2105 (1996).
3. А.Ф. Цацульников, Е.Е. Заварин, Н.В. Крыжановская, В.В. Лундин, А.В. Сахаров, С.О. Усов, П.Н. Брунков, В.В. Гончаров, Н.А. Черкашин, М. Нутч Формирование композитных квантовых точек InGaN/GaN/InAlN / Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 10.
4. I. V. Rogozin and A. N. Georgobiani. Kinetics of GaN Radical-Beam Gettering Epitaxy on GaAs Substrates / Inorganic Materials, 2006, Vol. 42, No. 12, pp. 1342–1347.
5. Грузинцев, У. Кайзер, И.И. Ходос, В. Рихтер. Излучательная рекомбинация нанокристаллов GaN / Неорг. матер., 2001 т.1, С37.
6. Langa S., Carstensen J., Christophersen of Pores during the Anodization of Si, Ge, and III-V Semiconductors / Journal of The Electrochemical Society. 2005. V.152, №8. P.525-531.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА МЕТАЛЛ-ПОРИСТЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ

Притчин С. Э., Холод А. Г.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина, e-mail: Aleksey_holod@gmail.com

Анотация: Разработана математическая модель описывающая зависимость общего сопротивления системы металлический контакт-пористый слой арсенида галлия-подложка арсенида галлия от пористости пленки, и показано что с увеличением толщины пористой пленки общее сопротивление увеличивается. Для оценки адекватности разработанной математической модели контакта металл-пористый арсенид галлия с барьером Шоттки были построены вольт-амперные характеристики и рассчитано общее контактное сопротивление для экспериментальных образцов с различной толщиной пористого слоя. Расхождение между результатами моделирования и экспериментальными данными не превышает 20%.

Ключевые слова: математическая модель, пористость, GaAs, контакт, mathematical model, porosity, GaAs, contact.

Контактное сопротивление относится к сопротивлению, возникающему на границе металл-полупроводник и является очень важным параметром для характеристики устройства. Особое место при создании металлических контактов к полупроводникам занимают контакты с барьером Шоттки [1]. Данные контакты находят широкое применение при изготовлении сенсоров газа на porous GaAs [2]. В тоже время механизм формирования контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки к пористому слою GaAs изучен недостаточно. Решение этого вопроса позволит улучшить электрические свойства контактов, и как следствие повысить характеристики электронных приборов на porous GaAs включая сенсоры газа.

Схему системы металл-пористая пленка можно представить следующим образом

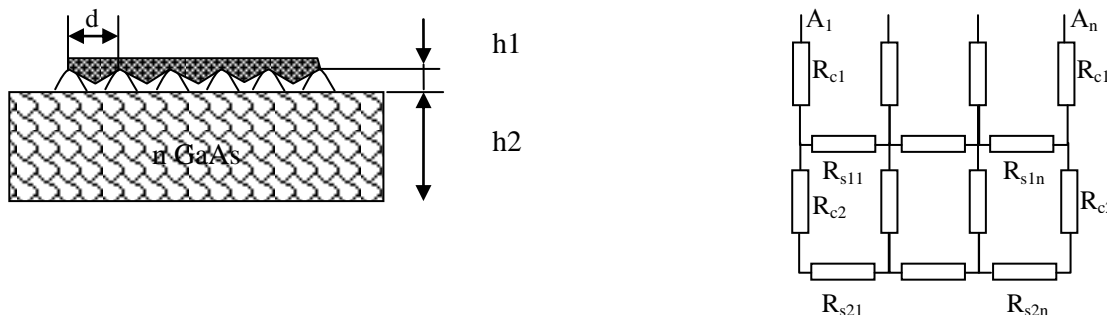


Рисунок 1 – Схематическое изображение и эквивалентная электрическая схема металлический контакт – porous GaAs

Пористая пленка porous GaAs состоит из пор и столбиков. При нанесении металлического контактного слоя на пористый слой, контактное сопротивление можно представить, как $nRsh$, где n – число столбиков на площади πL^2 , где L – радиус металлического контакта.

Для дальнейшего анализа контактного сопротивления структуры металлический контакт – porous GaAs использовался метод переноса (Transmission Line Method – TLM) который основан на изменении полного сопротивления по отношению к интервалу между контактами. Структура системы металлический контакт – porous GaAs в этом случае может быть представлена как эквивалентная модель сопротивления, как показано на рис. 1 Общее контактное сопротивление между двумя контактами можно записать как соединение сопротивлений R_c , которые определяют контактное сопротивление металл – пористый слой

(), и сопротивлений R_s – которые определяют сопротивление пористого слоя и сопротивления подложки. Тогда можно записать выражение для определения общего сопротивления контакта как:

$$R_T = \sum_{i=1}^n \frac{R_{ci}(R_{ci} + R_{si})}{2R_{ci} + R_{si}} \quad (1)$$

где

$$R_s = \rho_s \times d/H$$

где ρ_s – удельное сопротивление полупроводника, d - расстояние между столбиками пористого слоя, металлическими контактами (в поперечной структуре), $H = h1+h2$ - толщина пористого слоя и толщина подложки.

Для оценки адекватности полученной модели были экспериментально определено значение R_T для образцов с различными значениями $h1$.

В качестве образцов использовались эпитаксиальные структуры GaAs:Sn – GaAs:Si кристаллографической ориентации (100). Структуры изготавливались из пластин GaAs:Sn толщиной 400 мкм с концентрацией носителей заряда 10^{18} см^{-3} (слой n+- GaAs:Sn) которая измерялась методом Холла, и затем на пластины методом газофазной эпитаксии наносился слой GaAs:Si толщиной 20 мкм с концентрацией носителей заряда 10^{16} см^{-3} (слой n- GaAs:Sn). Всего было изготовлено 5 структур.

Перед формированием пористого слоя и омических контактов структуры обезжиривали путем последовательных погружений в органические растворители трихлорэтилена, ацетона, метанола, затем промывали дионизированной водой и сушили сухим азотом в течении 10 минут.

К слою n+- GaAs:Sn методом электронно-лучевого напыления создавался омический контакт AgGePd-GaAs с толщинами слоев 100/50/10 нм соответственно и последующим отжигом в течении 30 мин, при температуре $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пористый слой площадью $6,28 \text{ см}^2$ создавался в электролитической ячейке, используя травитель $\text{HF:H}_2\text{O}$ (1,5:1). Плотность тока анодирования варьировался в диапазоне $20 \div 80 \text{ mA}$ при времени анодирования 3 мин. Область травления освещалась источником света мощностью 100 Вт, в качестве которого использовалась галогенная лампа.

Контакт Шоттки Pd/GaAs и Pd/porous GaAs создавался методом химического осаждения. Используя полученные вольт-амперные характеристики были определены параметры барьера Шоттки, в частности высота барьера, и значение коэффициента идеальности.

Для экспериментального определения сопротивления контактов были построены вольт-амперные характеристики. Для расчета данных параметров использовалась программа для расчета высоты барьера, фактора идеальности и величины последовательного сопротивления из вольтамперных характеристик по методам Родерика, Чонга, прямой аппроксимации, энергии активации и модифицированным методом Норде.

Выводы: Разработана математическая модель описывающая зависимость общего сопротивления системы металлический контакт-пористый слой арсенида галлия-подложка арсенида галлия от пористости пленки, и показано что с увеличением толщины пористой пленки общее сопротивление увеличивается. Оценка адекватности предложенной модели показало соответствие между результатами моделирования общего сопротивления и экспериментальными данными на уровне 20%.

Литература:

1. Newman, N. and van Schilfgaarde, M. and Kendelwicz, T. and Williams, M. D. and Spicer, W. E. Electrical study of Schottky barriers on atomically clean GaAs(110) surfaces. Phys. Rev. B. 2006. V. 33(2). P. 1146—1159.

2. Heng-Yong Nie and Yasuo Nannichi. Pd-on-GaAs Schottky Contact: Its Barrier Height and Response to Hydrogen. Jpn. J. Appl. Phys. 2001. V. 30 P. 906-913

УДК 621.382

НОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Критская Т.В.¹, Быткин С.В.²

¹Кафедра электронных систем, Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина, krytskaja2017@gmail.com,

²Отдел конъюнктурно- технологического системного анализа ПАО «Запорожсталь», г.Запорожье, Украина, bytkin@bigmir.net

Применение силовых приборов и преобразовательной техники в самых позволяет внедрять надежные энергоэффективные технологии для всего технологического цикла: выработка, передача, распределение и потребление электрической энергии. По прогнозу IMS Research, мировой рынок дискретных силовых приборов в 2024 г. составит \approx \$23 млрд. (в 2017 г. - \$ 15 млрд.). С 90-х годов бурно развиваются направления «интеллектуальных» СПП (IGBT, MOSFET, FET, SIT, HEXFET) и силовых интегральных схем (SMART POWER IC). В настоящее время и в будущем интеллектуальным силовым компонентам в силовой электронике альтернативы не предвидится.

Мировые интеллектуальные ресурсы в настоящее время брошены на разработку гетероструктур на основе широкозонных полупроводников - от 1,38 эВ (InP) до 2,2-3,3 эВ (SiC, GaN), и выше – алмаз (5,47 эВ), AlN (6,2 эВ), BN (~5 эВ) и др. Применение этих материалов - разработка новых компактных, энергоэффективных СПП и SMART-модулей, преобразователей для солнечной и ветроэнергетики, сварочных аппаратов, авто-, электротранспорта, силового привода, высоковольтной СВЧ-электроники (MOSFET, HBT, JFET, диодов Ганна, р-і-n-диодов для мобильной связи, радиолокации, GPS).. Однако уникальность и высокая стоимость таких разработок позволяет сейчас их использовать в оборонной и военной технике, а также аппаратах, работающих в чрезвычайных условиях космического пространства (температура \sim 500 $^{\circ}$ C, агрессивная среда, перегрузки, высокое давление). GaAs и его твёрдые растворы, SiC, GaN, алмаз позволят создать на их основе новые высокотемпературные радиационностойкие силовые биполярные и униполярные приборы, имеющие лучшее быстродействие и частотные характеристики, по сравнению с кремниевыми приборами.

Однако объёмы использования кремния в течение ещё многих лет не снизятся ниже 90% и отказываться от него промышленность силовых полупроводниковых приборов (СПП) не намерена. Это связано с неисчерпаемостью сырьевых запасов SiO₂, освоённостью кремниевых технологий, большими объёмами и дешёвизной промышленно получаемых монокристаллов кремния, их структурным совершенством (бездислокационная структура, макро- и микрооднородность распределения примесей), а также открывшимися перспективами повышения эффективности кремниевых технологий (исключение стадии карботермического восстановления кварцитов, новые методы очистки хлорсиланов, новые методы легирования, управления качественными параметрами монокристаллов и др).

Использование кремния в технологии СПП будет по-прежнему ориентировано как на объёмные свойства монокристаллов, нарощенных эпитаксиальных слоёв, так и на специальную подготовку кремниевых подложек для изготовления гетероэпитаксиальных структур.

**CONTROL AND IDENTIFICATION INTRINSIC AND EXTRINSIC DEFECTS IN
NITROGEN DOPED P-TYPE ZnO THIN FILMS****Rogozin I.V.¹, Kidalov V.V.²**¹ORCID:0000-0001-7830-9540, Cand. Sci. (phys.-math.), assoc. prof., Berdyansk State Pedagogical University, iv_rogozin@bdpu.org.ua²ORCID:0000-0002-5128-1880, Dr. Sci. (phys.-math.), professor, Berdyansk State Pedagogical University, KidalovV.V@gmail.com

Over the past few years, wurtzite ZnO material has attracted huge interest due to its potential applications in short wavelength optoelectronic devices. Thanks to its high exciton binding energy, highly efficient light emission from excitonic recombination is expected. Furthermore, the possibility to fabricate a variety of nanostructures adds to the scientific and technological prospects of ZnO material. For the fabrication of ZnO-based light emitting devices, it is essential to grow highly doped p-type ZnO films with high. It is well known, however, that growth of stable p-type thin films should be achieved for the successful development of the ZnO light emitting devices. While nominally undoped ZnO typically exhibits n-type conductivity and n-type materials are readily obtained, growth of p-type ZnO film has proven to be very difficult due to its asymmetric doping limitations crystalline quality.

Obtaining ZnO with p-type conductivity has represented difficulty for many years. The nitrogen can be generally supplied by N₂, N₂O and NO gases to realize p-type ZnO. In particular, in some works it is reported the obtaining p-type ZnO films using NO gas. However, nitrogen ZnO films produced using an N₂ source leads to n-type conduction in ZnO. We also examine the effects of a few common point defects, including Zn interstitials, Zn vacancies, O vacancies, and complexes of each.

N-doped ZnO thin films were obtained using the original method of radical beam getting epitaxy [1]. The basic principle of this process is that thermal annealing leads to the growth of layers on a crystalline substrate via atomic oxygen (radicals) coming from the gas phase and getting zinc atoms from the substrate bulk. The growth was at temperatures in the range of 400-800°C. All N-doped ZnO films were grown on semi-insulating ZnSe (220) substrates. The substrates were degassed by heating in a vacuum (5×10^{-3} Pa) at 500°C for 30 s. The NO gas was used as the oxygen and N-dopant source. The chamber pressure was 1 Pa. Atomic oxygen and nitrogen were obtained in RF discharge with the power 100 W. Separation of charged particles was carried out using a strong permanent magnetic field.

The structure and crystalline orientation of the films were studied using an x-ray three-crystal diffractometer with the use of Cu K_α radiation. The concentration of the N impurity was determined using secondary ion mass spectroscopy. The elemental state of the nitrogen in the ZnO:N films was determined by X-ray photoelectron spectroscopy. Low-temperature photoluminescence measurements were performed using N₂ laser with a wavelength of 337.1 nm as an excitation light source. The electrical properties of samples were measured by Hall analysis in the van der Pauw configuration at room temperature using a direct current of 0.01 mA in a magnetic field of 0.5 T. The Hall data were compiled by employing both negative and positive currents and magnetic fields, and the results were averaged. In all cases, the size of the substrates was 10×10×2 mm³. Aluminum and gold contacts to the n- and p-layers respectively were deposited at a substrate temperature of 200 °C in a VUP-5 vacuum system.

An XRD 2θ–34.45° can be clearly seen. It suggests that the N-doped ZnO films exhibit the (002) preferential orientation with the c-axis perpendicular to the substrate. Only peaks (002) are observed in the profile. Because NO gas is dissociated, it releases oxygen atoms and becomes a strong oxidizing agent during the oxide film formation.

Secondary ion mass spectroscopy measurements demonstrate that N is incorporated into a ZnO film with a concentration of about 2.5×10^{19} cm⁻³. At the growth temperature of 800 °C, the level of the N signal is below the sensitivity limit of the SIMS method. The obtained data allow us

to assume that at the annealing temperature $N\ 700^{\circ}\text{C}$, introduction of N in the growing layer is weakened by desorption of the film components.

The hole concentration of the N-doped p-ZnO films was between $1.4 \times 10^{17} - 7.2 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$, and the hole mobility was $0.9 - 1.2\ \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ as demonstrated by Hall-effect measurements. When the growth temperatures were lower than $500\ ^{\circ}\text{C}$, the films were n-type. In the range of $500 - 600\ ^{\circ}\text{C}$, the N-doped ZnO thin films showed p-type conductivity. With the increasing temperature, the acceptors can be gradually activated, and thus the hole concentration increases. Nitrogen primarily substitutes for oxygen and acts as an acceptor. But at a high temperature of growth, the N-doped ZnO films again show n-type conduction. The increase in the electron carrier density at temperatures of $700 - 800^{\circ}\text{C}$ can be attributed to the reevaporation of oxygen due to the high-temperature growth.

The emission peak of $3.312\ \text{eV}$ is observed in the photoluminescence spectra at $4.2\ \text{K}$ of N-doped p-ZnO films, probably neutral acceptor bound excitons and the band of $3.24\ \text{eV}$, connected with a donor-acceptor pair recombination. The activation energy of the nitrogen acceptor was obtained by the temperature-dependent Hall-effect measurement, and is about $145\ \text{meV}$. The peak with a maximum at $3.312\ \text{eV}$ is observed in the PL spectra of ZnO:N films grown at $400 - 600\ ^{\circ}\text{C}$ and can be connected with (A^0, X) radiation. It is possible to connect the observed band at $3.312\ \text{eV}$ with (A^0, X) radiation, where the nitrogen dopant N_{O} acts as an acceptor being nitrogen on the oxygen site. The weaker peak intensity (A^0, X) of the films grown at $500\ ^{\circ}\text{C}$ is probably connected with a smaller concentration of N in the ZnO film. The results of SIMS measurements, Hall effect and PL testify that the band of $3.312\ \text{eV}$ and observable p-type of conduction of ZnO:N films are caused by the presence of nitrogen as an acceptor. However, the increasing of growth temperature up to $700\ ^{\circ}\text{C}$ is responsible for nitrogen disappearing from the films. The observed decreasing of the intensity of the exciton peak at $3.312\ \text{eV}$ testifies to this fact as well.

The position of nitrogen in ZnO remains the subject of controversy. Nitrogen can be incorporated into ZnO in the following ways: nitrogen substitutes for oxygen to form a N_{O} acceptor defect, and nitrogen substitutes for zinc to form an antisite or $(N_2)_{\text{O}}$ donor defect. The formation of a particular defect species depends on preparation conditions. A theoretically estimated depth of the N_{O} acceptor level is $0.31\ \text{eV}$ relative to the valence band top. On the other hand, one possible dominant shallow acceptor is the $V_{\text{Zn}} - N_{\text{O}}$ defect complex, which has a low formation energy when ZnO is synthesized under oxygen rich conditions.

According to XPS results, the elemental composition of the as grown ZnO:N films has a nearunity (0.96:1) oxygen to zinc atomic ratio. The high resolution O $1s$ and Zn $2p_{3/2}$ X-ray photoelectron spectra show lines at binding energies of 531.5 and $1021.8\ \text{eV}$, which correspond to ZnO. The nitrogen content is $0.4\ \text{at}\ \%$, which corresponds to an atomic concentration of $\sim 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$. The N $1s$ spectrum of the as grown ZnO:N film contains peaks at binding energies of 396.2 and $404.1\ \text{eV}$. Peak $396.2\ \text{eV}$ corresponds to the N-Zn bond, which points to the formation of N_{O} acceptor centers and the peak $404.1\ \text{eV}$ attributed to the formation of $(N_2)_{\text{O}}$ donor centers. Clearly, nitrogen substitution for oxygen during film growth leads to the formation of both acceptor and donor centers. However, the calculations carried out by us in [2] show that when ZnO is annealed in atomic oxygen at temperatures of $600 - 700\ ^{\circ}\text{C}$, the concentration of zinc vacancies can reach $10^{17} - 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$. This means that at high annealing temperatures one can expect the effective formation of acceptor complexes $V_{\text{Zn}} - N_{\text{O}}$.

Reference:

1. Georgobiani A.N., Kotlyarevsky M.B., Rogozin I.V. Methods of High-Energy Chemistry in the Technology of Wide-Gap Chalcogenide Semiconductors //Inorg. Mater. – 2004. - Vol. 40. Suppl. 1. P. S1–S18.
2. Котляревский М.Б., Рогозин И.В., Мараховский А.В. Кинетика дефектообразования в ZnO в потоке радикалов кислорода // ФТП. 2005. Т. 39. С. 641-646.

**ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ И СЕЛЕНА НА КИНЕТИКУ ГИБЕЛИ
ФОТОГЕНЕРИРОВАННЫХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$**

**Новиков Г.Ф.¹, Ракитин В.В.², Рабенюк Е.В.³, Голованов Б.И.⁴,
Гременок В.Ф.⁵, Хорошко В.В.⁶**

¹Институт проблем химической физики, Черноголовка, Россия, заведующий лабораторией, gfnovikov@gmail.com

²Институт проблем химической физики, Черноголовка, Россия, научный сотрудник, domi-tyan@yandex.ru

³Институт проблем химической физики, Черноголовка, Россия, старший научный сотрудник, jane.rabenok@gmail.com

⁴Институт проблем химической физики, Черноголовка, Россия, инженер, golovanov@ezan.ac.ru

⁵ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», заведующий лабораторией, gremenok@physics.by

⁶Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, заведующий кафедрой, khoroshko1986@mail.ru

Анотация: Методом время-разрешенной микроволновой фотопроводимости изучено влияние содержания серы и селена на кинетику гибели фотогенерированных носителей тока в твердых растворах CZTSSe. Обнаружено, что при большем содержании серы образуется бóльшая концентрация мелких ловушек по сравнению с образцами, в которых содержание селена выше.

Ключевые слова: твердые растворы CZTSSe, рамановская спектроскопия, метод время-разрешенной микроволновой фотопроводимости

Annotation: The influence of amount of sulfur and selenium on the loss kinetics of photogenerated current carriers in CZTSSe solid solutions was studied by time-resolved microwave photoconductivity method. It was shown that at high content of sulfur one can create high concentration of shallow traps in comparison with samples contained high concentration of selenium.

Key words: CZTSSe solid solutions, Raman spectroscopy, time-resolved microwave photoconductivity method

Согласно общим представлениям о природе фотовольтаического напряжения, возникающего при освещении двухслойной системы, в которой поглощающий слой – неорганический полупроводник [1], эффективность прямого преобразования света в электричество существенно зависит от диффузионной длины пробега носителей тока $L=(D\tau)^{1/2}$ в этом слое (здесь D и τ – коэффициент диффузии и время жизни носителей тока). Наглядные представления о степени такой зависимости дают численные расчеты SCAPS [2], позволяющие при наличии необходимых расчетных параметров учесть влияние химического состава и структуры поглощающих слоев на фотовольтаические свойства преобразователей. Ярким примером систем, позволяющих в широких пределах менять химический состав поглощающих слоев, и которые активно изучаются в последние десятилетия, являются четверные соединения меди типа $Cu_2ZnSn(S_xSe_{1-x})_4$ (CZT(SSe)). В последнее время пленки соединений этого типа, хорошо зарекомендовали себя в тонкопленочных солнечных элементах (ТСЭ). Однако, хотя КПД солнечных элементов на основе таких слоев достиг 12%, он все же еще далек от теоретического предела ~32% [3]. Причины такого отставания пока не выяснены, - возможно, из-за недостатка необходимых параметров для расчетов и корректировки технологии.

Влияние состава поглощающих слоев на фотовольтаические параметры экспериментально наблюдалось неоднократно. Возможным объяснением данного эффекта

может быть результат того, что в стехиометрическом и обедненном составе могут существенно различаться не только концентрации, но и пространственные распределения дефектов, что может влиять на дрейфовые подвижности и времена жизни носителей тока и процессы разделения зарядов.

Целью данной работы было изучение влияния содержания серы и селена на кинетику гибели фотогенерированных носителей тока в твердых растворах CZT(SSe).

Одним из методов позволяющих исследовать кинетику гибели фотогенерированных носителей тока является метод время-разрешенной люминесценции [4, 5], основанный на исследовании кинетики затухания спектра излучения. Однако, этим методом регистрируются только процессы, протекающие с излучением света, например, рекомбинационная люминесценция. Для регистрации процессов гибели свободных носителей тока, идущих без излучения света – захват акцепторами, ловушками, электрон-дырочная рекомбинация, рекомбинация через локализованные состояния, и в т.ч. для случая безызлучательной люминесценции - метод не пригоден. Электрические методы применимы в более общем случае. Одним из таких методов является метод время-разрешенной микроволновой фотопроводимости (FTRMC) [6]. Этот метод позволяет следить за изменением концентрации носителей тока в зоне проводимости. Кроме того, благодаря обычно малому дрейфовому смещению носителей тока под действием электрического поля метод позволяет исследовать как микро- так и макрообъекты.

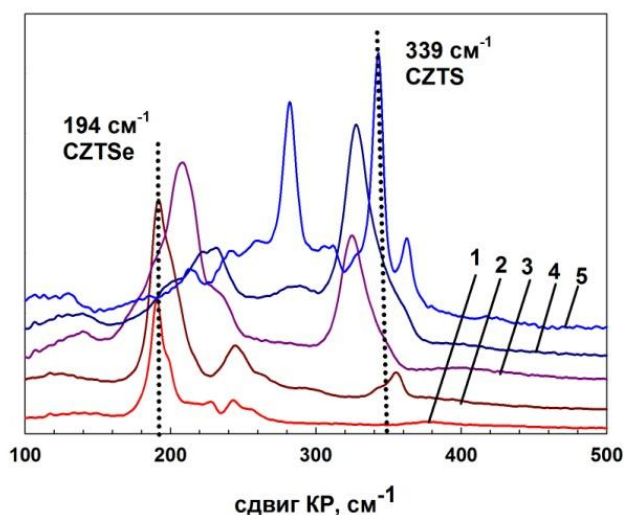


Рис. 1 Спектры КР образцов $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$, где: 1 – $x = 0$; 2 – $x = 0.3$; 3 – $x = 0.5$; 4 – $x = 0.7$; 5 – $x = 1$.

Для синтеза четверных соединений твердых растворов CZT(SSe) использовался однотемпературный метод, обеспечивающий чистоту получаемого вещества и отсутствие потерь компонентов. В качестве исходных веществ выступали элементарные медь, цинк и олово чистоты 99.999%, сера и селен марки ОСЧ. Синтез проводился в двойных кварцевых ампулах. Исходные компоненты в соотношениях, соответствующих формульному составу, в количестве ~15 г загружались в ампулу, которую затем вакуумировали. Эта ампула помещалась в другую вакуумированную ампулу, которую устанавливали в вертикальной однозонной печи. Температуру в печи поэтапно с двухчасовой выдержкой поднимали до значений, на 20–30°C превышающих температуру плавления соединения, либо до температуры ликвидуса твердого раствора соответствующего состава. При достижении нужной температуры включали вибрационное перемешивание и температура выдерживалась в течение 4 ч. Затем вибрацию отключали и уменьшали температуру со скоростью 5 град/ч до полного затвердения раствора. Для гомогенизации полученных слитков твердых растворов проводился их изотермический отжиг в вакууме при 750 °C в течение 300 ч.

Состав полученных образцов изучался методом рамановской спектроскопии (Bruker

Senterra micro-Raman system, излучение 532 нм). На Рис. 1 представлены спектры КР для образцов $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ с разным содержанием серы и селена. Как видно из рисунка, при $x=0$, присутствует только кестеритная фаза CZTSe (194 см^{-1}). С ростом x в образцах начинает преобладать сульфидная фаза CZTS, тогда как пики селенидной фазы CZTSe постепенно уменьшаются. При $x = 1$ наблюдается присутствие только кестеритная фаза CZTS (339 см^{-1}).

Для исследования кинетики гибели фотогенерированных носителей тока применен метод FTRMC в диапазоне частот 36 ГГц при комнатной температуре. Временное разрешение электрической цепи было ~ 5 нс. [6, 7] Фотопроводимость возбуждали азотным лазером ЛГИ 21 (длина волны 337 нм, длительность импульса 8 нс). Максимальная плотность светового потока, падающего на образец за импульс (экспозиция), была 10^{15} фотон/см² за импульс. Интенсивность света в экспериментах изменяли светофильтрами.

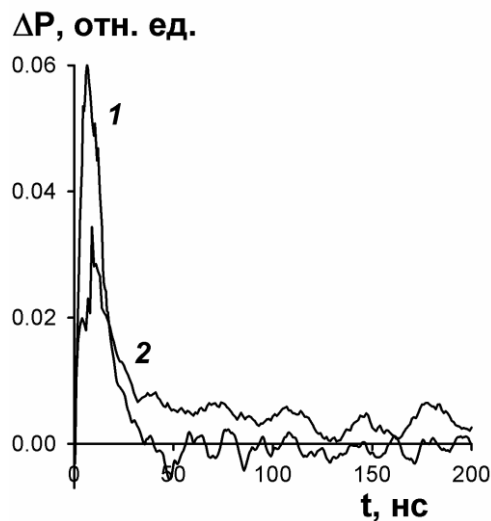


Рис. 2 Спады микроволновой фотопроводимости твердых растворов $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ для двух составов: 1 – $x = 0.3$; 2 – $x = 1$. $I = 10^{15}$ фотон/см² за импульс

При включении света отраженная мощность сначала резко возрастала – «фотоотклик», а затем постепенно возвращалась к исходному состоянию. На Рис. 2 для примера приведены спады микроволновой фотопроводимости для двух образцов $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ с разным содержанием серы и селена. Зависимости амплитуды фотоотклика от интенсивности света $\Delta P_{\text{max}}(I_0)$ для всех исследуемых образцов были нелинейными. Этот факт свидетельствует о том, что при использованных в эксперименте интенсивностях света был заметен вклад в фотоотклик процесса гибели второго порядка (рекомбинация электронов и дырок) на временах меньших временного разрешения установки $t_{\text{пр}} < 5$ нс. Из Рис.2 можно видеть, на больших временах проявляется «медленная» компонента фотоотклика (кривая 2), свидетельствующая о перзахвате электронов в мелких ловушках для образцов с большим содержанием серы. Таким образом, обнаружено, что при большем содержании серы образуется большая концентрация мелких ловушек по сравнению с образцами, в которых содержание селена выше [7].

Данные исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты Ф18Р-243 и Бел_а 18-58-00021).

Литература:

1. А. Фаренбрух, Р. Бьюб. *Солнечные элементы. Теория и эксперимент.* (М., Энергоатомиздат, 1987 г) гл.1, с.11.
2. M. Burgelman, J.Marlein. *Proc. of References the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference* (Valencia, Spain, 2008) p. 2151.

3. V V Rakitin, G F Novikov, "The solar cells of third generation based on copper quadruple compounds with kesterite structure ", *RUSS CHEM REV*, 2017, 86 (2), 99–112
4. I.L. Repins, W.K. Metzger, C.L. Perkins, J.V. Li, M.A. Contreras *Proc. 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (Philadelphia, Pennsylvania, USA 2009) p. 000978.
5. T. Sakurai, K. Taguchi, M.M. Islam, S. Ishizuka, A. Yamada et al. *Japanese Journal of Applied Physics*, **50**, 05FC01 (2011).
6. G.F. Novikov, A.A. Marinin, E.V. Rabenok. *Instrum. Exp. Tech.*, **53**(2), 233 (2010).
7. G.F. Novikov. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. **7**, 011204-1 (2015).

УДК 539.26

SHORT-RANGE ORDER AND NANOPHASE SEPARATION IN As-S-Sb AND As-S-Se CHALCOGENIDE GLASSES

Revutska L.O.¹, Shportko K.V.², Stronski A.V.³, Baran J.⁴, Gudymenko O.Y.⁵, Kidalov V.V.⁶, Oleksenko P.F.⁷

¹Ph.D. student at National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky KPI", e-mail: liubov.revutska@gmail.com

²Senior Researcher at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine, e-mail: k.shportko@ukr.net

³Head of department of Physics of optoelectronics devices at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine, e-mail: stronski@isp.kiev.ua

⁴Researcher at Institute of low temperatures and structure research, PAS, Wroclaw, Poland.

⁵Researcher at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine

⁶Head of the Department of Physics and Methods of Teaching Physics at Berdyansk State Pedagogical University, Berdyansk, Ukraine.

⁷Chief Scientist at V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS, Ukraine

Annotation: In present work the results of investigations on the influence of Sb doping (3, 15, 20, 25 30 at. %) on structural properties of As-S glasses and As-Se-S chalcogenide glasses upon systematic change of the Se- and S-content are presented ($As_{40}Se_{40}S_{20}$, $As_{40}Se_{20}S_{40}$, $As_{40}Se_{10}S_{50}$, $As_{40}S_{60}$, $As_{40}Se_{60}$). X-ray diffraction studies confirmed amorphous structure of glasses. Pair distribution functions have been obtained and analyzed, which testified about certain increase of the first coordination sphere radius after introduction of Sb into As-S. From obtained Raman spectra of As-Sb-S and As-Se-S it can be seen that structure changes.

Key words: chalcogenide glasses, pair distribution function, Raman spectroscopy, nanophases.

Chalcogenide glasses (CG) belong to the non-oxide glasses that are known for their unique properties: transparency IR region, quasi-stability, photo-induced changes in optical properties, ion-conductivity of doped chalcogenide glasses and films, etc. CG have transmission windows in the near and middle IR range, excellent solubility of metals, rare-earth elements, high non-linear optical properties, which makes possible fabrication of various optical elements, elements of integrated optics, waveguides for the IR range on their base, as well as to use them in information technologies and devices of optoelectronics, integrated and fiber optics.

The experimental XRD profiles from glasses of different compositions were similar but showed a systematic variation with composition. Diffraction profiles have confirmed the amorphous nature of studied CG, which turned to be disordered systems without long-range order and three-dimensional periodicity. However, there is short-range order in which the atoms around any system of atoms that can be described by pair distribution function of the atoms (PDF). PDF for As-S-Sb glasses were calculated and positions of the first peaks correspond to the value of 2.25-2.35 Å, second peaks – 3.45-3.53 Å. The systematic change of the Se- and S-content in As-S-Se does not

significantly affect the structure. The position of the first peak for As-S-Se corresponds to the value of 2.29 Å,

The Raman spectra of As-Sb-S glasses exhibit main bands around at 340 cm⁻¹ and at 315 cm⁻¹, and a wide band structure around 150 cm⁻¹. Observed bands in the Raman spectra of As-Sb-S samples can be explained in the terms of vibrational modes As₂S₃ and Sb₂S₃ glasses studied in [1, 2]. The strongest band at 340 cm⁻¹ in all spectra, is ascribed to AsS_{3/2} pyramidal units [1]. Additional strong band can be revealed at 315 cm⁻¹, it is assigned to the presence of SbS₃ pyramids [2]. The intensity of this peak follows the increase of Sb content.

The Gaussian decomposition of obtained Raman spectra was performed for a quantitative analysis of their compositional dependencies. Compositional dependencies of As-Sb-S glasses Raman spectra indicate that intensity of the bands corresponding to molecular fragments with Sb-related and homopolar As-As bonds increases with the growth of Sb content. The intensity of the bands corresponding to presence of AsS_{3/2} pyramidal units decreases with higher Sb content.

The Raman spectra of As-Se-S samples exhibit two main bands around 230 cm⁻¹ and at 340 cm⁻¹, and a wide band structure around 150 cm⁻¹. Observed bands in the Raman spectra of As-Se-S samples can be explained in the terms of As₂Se₃ and As₂S₃ glasses vibrational modes [2–3]. The strongest band at 224 cm⁻¹ in all spectra, is ascribed to AsSe_{3/2} pyramidal units. The intensity of this peak follows the increase of Se content. Furthermore, within this main band the two bands at 233 and 255 cm⁻¹ can be resolved in spectra of samples with lower Se content. Additional weaker band can be revealed at 340 cm⁻¹, it is assigned to the presence of As(S_{1/2})₃ pyramids. The bands around 120 cm⁻¹ become visible by gaining their intensity upon increasing the Se doping.

Compositional dependencies of As-Se-S glasses Raman spectra indicate the increase of the intensity of the bands corresponding to molecular fragments with Se-related and homopolar As-As bonds with the growth of Se content. The intensity of the bands corresponding to presence of AsS_{3/2} pyramidal units decreases with higher Se content.

Thus, Raman data show that As-Sb-S and As-Se-S glasses contain different nanophases whose concentration is changing along chosen compositional cross-section and calculated pair distribution functions for As-S-Sb show the changing of elements concentration affects the first coordination sphere.

References:

1. A. V. Venger, E.F., Melnichuk, A.V., Stronski, *Photostimulated processes in chalcogenide glassy semiconductors and their practical application*. Kyiv: Academperiodika, 2007.
2. M. S. Iovu, E. I. Kamitsos, C. P. E. Varsamis, P. Boolchand, and M. Popescu, “Raman spectra of As_xSe_{100-x} and As₄₀Se₆₀ glasses doped with metals,” *Chalcogenide Lett.*, vol. 2, no. 4, pp. 21–26, 2005.
3. A. V. Stronski, M. Vlcek, A. I. Stetsun, A. Sklenar, and P. E. Shepeliavyi, “Raman spectra of Ag- and Cu-photo-doped As₄₀S_{60-x}Se_x films,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 270, pp. 129–136, 2000.

УДК 539.234; 538.915; 621.315.592.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТОЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУР n-Si/n-ZnO/p-NiO

С. Сапон, Ю. Поліщук, Т. Сабов, Н. Сафрюк, О. Дубіковський, О. Косуля, О. Оберемок
Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, НАНУ, проспект Науки 45, 03028
Київ, Україна, науковий співробітник, romb@isp.kiev.ua

Анотація: В даній роботі досліджувались вольтамперні та фольтфарадні характеристики гетеропереходів p-NiO/n-ZnO та n-ZnO/n-Si. Було показано, що дані структури мають високу фоточутливість, а також низький рівень дефектності.

Ключові слова: гетероперехід, вальтамперна характеристика, вольтфарадна характеристика, ZnO, NiO

Annotation: In this paper, the I-V and C-V characteristics of the p-NiO/n-ZnO and n-ZnO/n-Si heterojunctions are investigated. It has been shown that these structures have high photosensitivity, as well as low level of defects.

Key words: heterojunction, I-V characteristic, C-V characteristic, ZnO, NiO

Оксиди перехідних металів широко використовуються в якості напівпровідникових матеріалів для створення оптичних, хімічних та фотохімічних сенсорів. З низки методів синтезу оксидів, метод магнетронного розпилення є одним з найбільш широко використовуваних. Це пов'язано з можливістю досить простого керування стехіометричними та структурними характеристиками плівок зміною умов їх осадження.

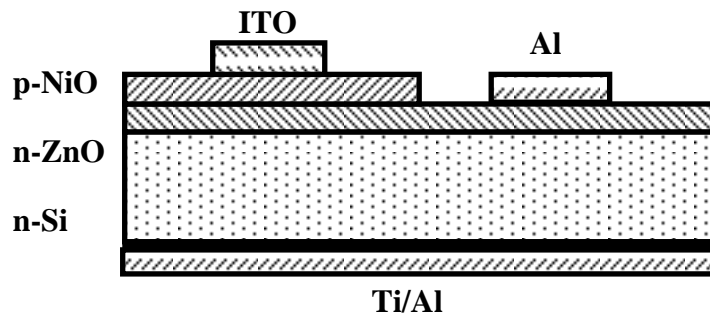


Рис. 1 Схематичне зображення досліджуваних структур

Природньо, тонкі плівки NiO та ZnO мають різні типи провідності і можуть бути використані для формування анізотипного гетерогенного p-n переходу. На основі якого можна створити як газові сенсори так і сенсори ультрафіолетового випромінювання. Поряд з тим, нанесення плівки на поверхню кремнію n-типу дозволяє створити ізотипні гетеропереходи n-ZnO/n-Si для формування високочастотних діодів.

В даній роботі досліджувались тонкоплівкові гетероструктури p-NiO/n-ZnO та n-ZnO/n-Si після формування на них діодних структур в єдиному технологічному циклі.

Плівки n-ZnO та p-NiO послідовно напорошувались на кремнієву підкладку KEФ-0,2(100) через відповідні маски з подальшим формуванням контактів ITO - p-NiO, Al- n-ZnO, Ti/Al - n-Si.

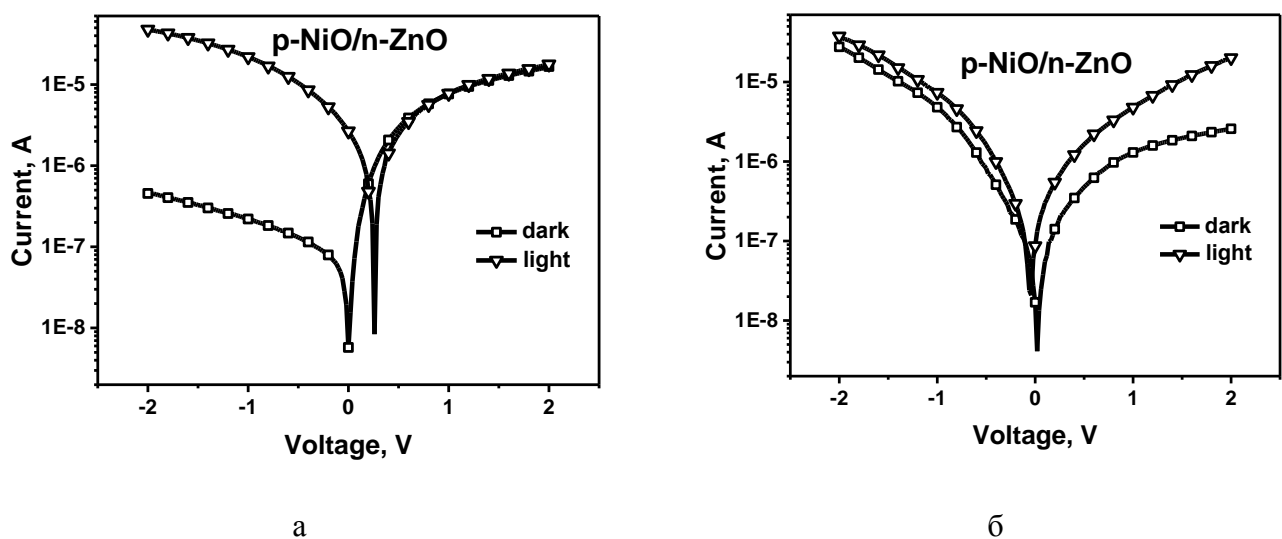


Рис. 2 ВАХ структур n-Si/ZnO (а) та p-NiO/n-ZnO (б) до та після освітлення білим світлом

Плівки ZnO леговані алюмінієм наносилися на поверхню Si (100) n-типу методом високочастотного магнетронного розпорощення мішені Zn у плазмі з суміші газів Ar/O₂.

Вміст Al знаходився на рівні 1.5%. Плівка NiO напрошувались з мішені Ni в суміші Ar/O₂ (3/7). Додаткове легування NiO не проводилось. Товщина плівок складала 67 нм та 70 нм відповідно. На рис. 1 приводиться схематичне зображення досліджуваних структур.

Вольт-амперні характеристики сформованих діодних структур з площею гетеропереходу 100×100 μм для p-NiO/n-ZnO та 300×100 μм n-ZnO/n-Si. Показно, що обидві діодні структури мають досить високу фоточутливість до білого світла.

З вольт-фарадних характеристик діодів встановлено, що величина бар'єру гетеропереходів становить 0,72 для p-NiO/n-ZnO та 0,77 eV для n-ZnO/n-Si. Фактор неідеальності склав 1,08 та 1,03 відповідно, що свідчить про дифузійний характер струмопереносу в та низький рівень дефектності в досліджених структурах.

УДК 539.1; 539.26; 543.51;

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПОЛІВ НА ШВИДКІСТЬ РОЗПИЛЕННЯ ІОННИМ ПУЧКОМ НАДГРАТОК AlN/GaN

Т. Сабов, О. Дубіковський, О. Косуля, О. Любченко, В. Мельник, З. Максименко

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, НАНУ, проспект Науки 45, 03028
Київ, Україна, молодший науковий співробітник, romb@isp.kiev.ua*

Анотація: Досліджено розподіл механічних напружень в надгратці AlN/GaN та їх зміни внаслідок імплантації іонів інертних газів. Встановлено залежність швидкості розпилення іонним пучком від механічних напружень.

Ключові слова: релаксація напружень, GaN/AlN надгратка, іонна імплантація, фотолюмінісценція, XRD, мас-спектрометрія, Раманівська спектрометрія.

Annotation: The distribution of mechanical stresses in the AlN/GaN superlattices and their changes as a result of implantation of inert gases ions is investigated. The dependence of the sputtering rate by ion beam on mechanical stresses was established.

Keywords: strain relaxation, GaN/AlN superlattice, implantation, photoluminescence, XRD, mass-spectrometry, Raman spectroscopy.

III-нітридні сполуки (Al_xGa_{1-x}N) та надгратки (НГ) широко використовуються як активні шари у світлодіодах і транзисторах з високою рухливістю електронів. Нещодавні дослідження показують, що електричні та електрооптичні властивості НГ істотно залежать від деформаційних станів та структурних параметрів.

Досліджувані структури були вирощені методом плазмової молекулярно-променевої епітаксії на підкладці з Al₂O₃ (0001), на якій був осаджений буферний шар GaN товщиною 4 мкм. Товщина шару AlN становила 5 нм, а шару GaN - 4 нм. Структура мала 21 період. Для зміни деформаційних станів структур AlN/GaN та їх оптоелектронних властивостей було проведено імплантацію іонами Ar⁺ з енергією 100 кеВ та дозою 10¹⁴ см⁻².

Розподіл домішок по глибині був досліджений методом SIMS аналізу на обладнанні АТОМІКА 4000 (Рис.1а,б). Для аналізу було використано пучок іонів O₂⁺ з енергією 3 кеВ. Час розпилення одного шару AlN/GaN визначали як FWHM піку основного елемента (Al/Ga відповідно). На рис. 1в наведено залежність часу видалення одного шару від глибини. При детальному аналізі часу, необхідного для видалення одного шару можна помітити, що загальна тенденція полягає у збільшенні часу видалення шару зі збільшенням глибини. Отже, час видалення шарів AlN і GaN становить приблизно 5,7 хв. і 4,9 хвилини, відповідно; він змінюється на ~ 7,4 хвилин і на 6,5 хвилин біля інтерфейсу надгратка / буферний шар. Це може бути пов'язано з різною товщиною шарів у структурі - більш глибокі шари мають більшу товщину, або змінюється швидкість розпилення.

Після імплантації час розпилення шарів дещо зменшується для шарів, що знаходяться в глибині, тобто ситуація є протилежною порівняно з неімплантованою структурою.

Проте така зміна не може бути пов'язана з зміною товщини шарів, оскільки доза імплантованих іонів аргону невисока, і відсутні ефекти перемішування, тобто не спостерігалось розмиття границь розділу шарів. Отже, найбільш вірогідним поясненням є зміна швидкості розпилення. Ця зміна пояснюється впливом полів деформації. Зміни деформаційних полів у структурі після імплантації викликають зміну енергії зв'язку між атомами, тому швидкість травлення змінює не тільки свою величину, але й залежність цих змін від глибини. Крім того, вплив структурних порушень, зумовлених імплантацією, слабо впливає на швидкість розпилення в порівнянні з впливом полів деформації та вбудованих п'єзоелектричних полів, що залежать від деформації. Він стає більш однорідним, тобто загальна зміна деформаційних полів системи призвела до більш однорідного розподілу енергії зв'язків між атомами в шарах НГ.

З високороздільних рентгенодифракційних $2\theta-\omega$ сканів рефлексу 0002 до і після імплантації було виявлено, що система сателітів на рентгенівських спектрах в НГ GaN/AlN після імплантації зсунута відносно їх положення для вихідного стану в бік менших кутів. Це відповідає зростанню усередненого по всій НГ параметра ґратки c (або деформації розтягу) на рівні $\Delta c/c=0.28\%$. З мап оберненого простору рефлексу 11-24 було встановлено, що параметр ґратки a залишається практично незмінним після імплантації, тобто НГ залишається у псевдоморфному стані.

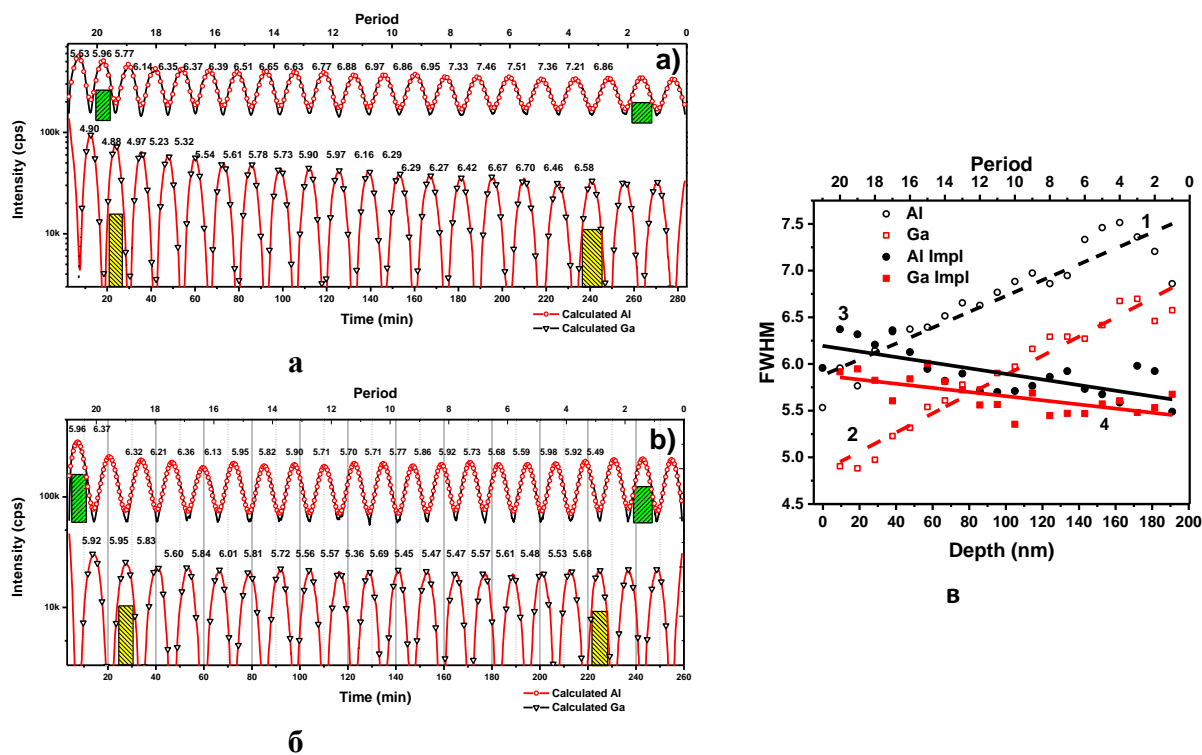


Рис.1. SIMS профілі до (а) та після іонної імплантації (б), а також залежність часу видалення одного шару від глибини (періоду НГ) (в).

На основі дослідження спектрів ФЛ можна зробити висновок, що імплантація призводить до перерозподілу напружень в НГ та буферному GaN шарі. Зокрема, зі спектрів ФЛ слідує, що в GaN шарах у верхній частині НГ зростають напруження розтягу по осі c , що корелює як з результатами XRD, так і даними мас-спектрометрії. Тобто, точкові дефекти, що виникають в процесі імплантації, сприяють формуванню дислокацій на інтерфейсі НГ/GaN буферний шар, які, в свою чергу, зменшують напруження стиску в GaN шарах поблизу інтерфейсу, а за рахунок пружної взаємодії між шарами НГ збільшується напруження стиску в шарах GaN біля поверхні НГ.

Показано, що швидкість травлення шарів НГ у вихідному зразку зростала з глибиною. Це можна пояснити впливом зміни деформаційних полів.

УДК 539.234; 538.915; 621.315.592.3

ФОРМУВАННЯ ІЗОТИПНОГО ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ ZnO/Si

Оберемок О.С., Сабов Т.М., Дубіковський О.В., Косуля О.В.,

Попов В.Г., Гудименко О.Й.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
пр. Науки, 41, 03028, Київ, Україна, старший науковий співробітник, ober@isp.kiev.ua

Анотація: Досліджено початкові стадії росту плівки ZnO на поверхні Si при кімнатній температурі методами AFM, XRR, XRD, SIMS, I-V та C-V. Показано, що діодна характеристика гетероперехіду ZnO/Si утворюватися лише при досягненні певної товщини плівки ZnO.

Ключові слова: тонкі плівки ZnO, магнетронне розпилення, гетероперехід

Annotation: The initial stages of ZnO film growth on the Si surface at the room temperature were investigated by AFM, XRR, XRD, SIMS, I-V and C-V methods. It is shown that the diode characteristic of the ZnO/Si heterojunction is formed only with the achievement of a certain ZnO film thickness.

Key words: ZnO thin films, magnetron sputtering, heterojunction

Використання ізотипних гетеропереходів є перспективним для створення швидкісних діодних детекторів ультрафіолетового випромінювання. Зокрема, викликають інтерес плівки ZnO, нанесені на кремнійову підкладку. Окис цинку є прямозонним напівпровідником, який характеризується великою шириною забороненої зони ($E_g = 3,37$ eV) та високою прозорістю в видимій та інфрачервоній області спектру. За своєю природою ZnO є напівпровідником *n*-типу, а тому для створення ізотипного гетеропереходу необхідно використовувати кремній *n*-типу. Епітаксійний ріст плівки ZnO на кремнійовій підкладці ускладнюється в зв'язку з великою неузгодженістю ґраток між ZnO та Si (до 15,4%). Основною проблемою, яка виникає при виготовленні гетероструктур ZnO/Si є генерація дефектів в плівці ZnO і на границі розділу ZnO/Si. Це призводить до неконтрольованих процесів генерації та рекомбінації носіїв струму в області просторового заряду, тобто до деградації оптичних та електричних властивостей створюваних приладів. Вивчення початкових етапів росту плівки дозволить зрозуміти - при яких умовах починає формуватися гетероперехід з діодними характеристиками.

В даній роботі плівки ZnO наносилися на поверхню *n*-Si(100) методом магнетронного розпилення мішені ZnO з 1% вмістом Al при кімнатній температурі. Проводились дослідження структури, зміни величини шорсткості та рельєфу поверхні та інтерфейсу ZnO/Si. Досліджувались розміри утворюваних зерен в залежності від товщини плівок ZnO. Для досліджень було використано методи рентгенівської дифрактометрії (XRR, XRD), атомно-силової мікроскопії (AFM) та мас-спектроскопії (SIMS).

Ріст плівок ZnO відбувається у вигляді стовпчиків певної орієнтації. Додавання Al в процесі росту плівки призводить до збільшення провідності, зміни ширини забороненої зони та ущільнення плівки ZnO. Показано, що товщина перехідного шару SiO_x на границі розділу ZnO/Si не змінюється зі збільшенням товщини плівки. Спостерігається зменшення об'ємної щільності плівки, а також збільшення густини та розміру нанозерен на її поверхні зі збільшенням товщини плівки, рис.1. Шорсткість поверхні зростає в 2,5 рази (рис.2а). При досягненні товщини плівки 67 нм, на вольт-амперних характеристиках (I-V) фіксується утворення діодної структури з коефіцієнтом неідеальності $\approx 2,7$ (рис.2б), що указує на превалюючий вклад генераційно-рекомбінаційної та резистивної складових в процеси струмопереносу через ZnO/Si гетероперехід. Вольт-фарадна характеристика (C-V) свідчить,

що бар'єрна ємність гетеропереходу залежить від частоти сигналу. Величина ємності зменшується для позитивних значень прикладеної напруги при збільшенні частоти сигналу. Це свідчить про наявність інтерфейсних станів на границі розділу, які не встигають відслідковувати більш швидкий сигнал прикладеної до структури змінної напруги. Величина контактної різниці потенціалів гетеропереходу складає 0,66 В і визначалась з вольт-фарадних характеристик, виміряних на частоті 1 МГц.

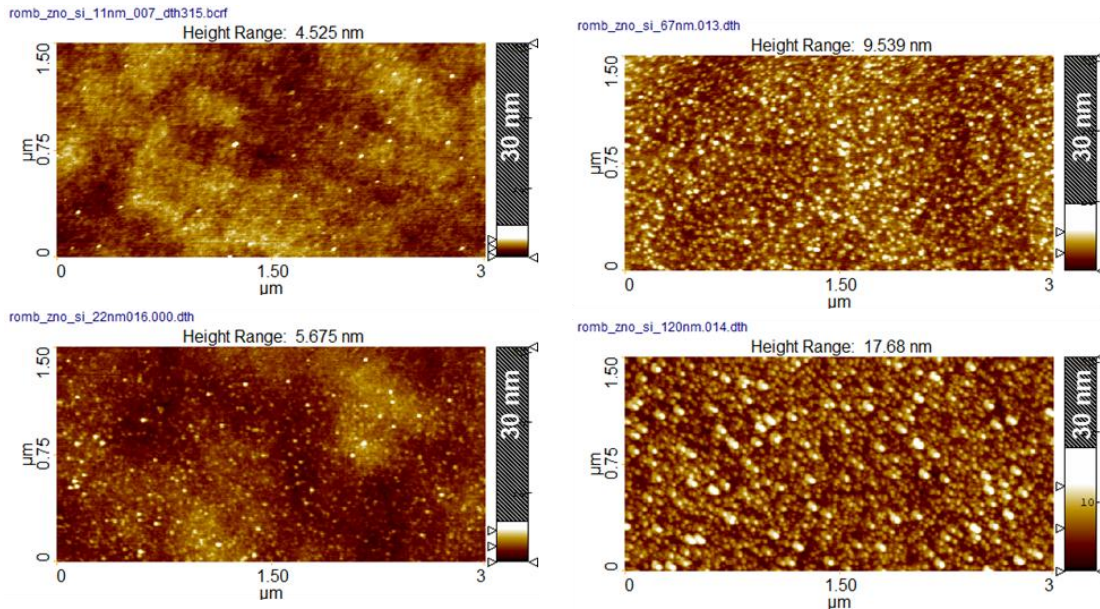


Рис. 1. AFM зображення рельєфу плівок ZnO з товщинами 11 нм, 22 нм, 67 нм та 120 нм, осаджених на поверхню кремнієвої пластини.

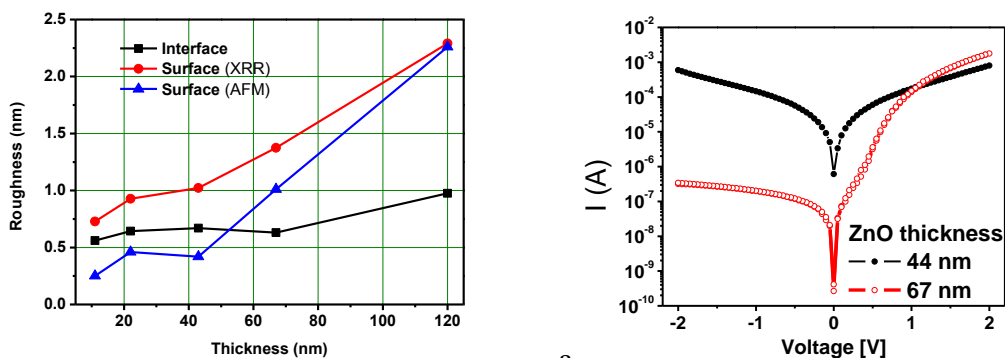


Рис.2. Зміна величин шорсткості рельєфу поверхні і інтерфейсу ZnO/Si в залежності від товщини плівки ZnO (а) та I-V характеристики гетеропереходу ZnO/Si при товщинах плівок ZnO 44 нм та 67 нм.

ВПЛИВ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (РЗЕ) НА ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЮ В ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧАХ НА ОСНОВІ Si

**О. Дубіковський¹, О. Косуля¹, Т. Сабов¹, О. Оберемок¹, В. Попов¹, В. Коваль²,
М. Душейко², В. Стрельчук¹, О. Коломис¹**

¹ Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, НАНУ, проспект Науки 45, 03028
Київ, Україна, молодший науковий співробітник, romb@isp.kiev.ua

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
ім. І.Сікорського» пр-т Перемоги 37, 03056 Київ, Україна

Анотація: Досліджено вплив рідкоземельних елементів на фотолюмінесценцію в фотоперетворювачах на основі Si. Показано, що тип елемента та режим легування суттєво впливають на ФЛ.

Ключові слова: кремній, рідкоземельні елементи, легування, фотоперетворювач, фотолюмінесценція

Annotation: The influence of rare earth elements on photoluminescence in Si-based photoconverters is investigated. It is shown that the type of element and doping mode significantly affect the PL.

Key words: silicon, rare earth elements, doping, photo-converter, photoluminescence

Пошук нових методів підвищення ефективності кремнієвих фотоперетворювачів є одним з актуальних напрямків розвитку сонячної енергетики. Наприклад, одним із потенційних матеріалів на заміну аморфного кремнію в тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) є нанокристалічний кремній. Нанокристали вбудовані в аморфну матрицю кремнію збільшують чутливість фотоперетворювачів у видимому та ультрафіолетовому діапазоні спектру та підвищують стабільність їх характеристик.

Додаткове легування домішками рідкоземельних елементів поглинаючого шару тонкоплівкових фотоприймачів та фотоелектричних перетворювачів дозволяє покращити ефективність їх роботи. Елементи **Eu**, **Y**, **Dy** дозволяють створювати в **Si** оптичні домішкові центри різної природи, які можуть ефективно поглинати світло. Так введення європію дозволяє ефективно поглинати світло в ультрафіолетовій області спектру і випромінювати світло в іншому спектральному діапазоні.

В даній доповіді наводяться результати досліджень фотолюмінесцентних (ФЛ) властивостей фоточутливих структур *p-Si/n-Si*/буферний діелектричний шар/просвітлююче покриття з нанокристалічного кремнію, легуваного домішками європію, ітрію та диспрозію. Плівки нанокристалічного кремнію напилювалися методом електронно-променевого розпилення мішеней, що містили РЗЕ з концентрацією -5 ат%. Температура підкладки під час осадження складала 350 °С. Профілі розподілу домішок по глибині вимірювались методом часопролітної мас-спектрометрії (TOF-SIMS) в позитивних іонах. ФЛ збуджувалась лазером з довжиною хвилі 325 нм.

На рис. 1 представлені спектри ФЛ нанокристалічного кремнію, легуваного домішками 1- **Y** (5%), 2- **Eu** (5%), 3- **Dy** (5%) та 4- **Dy** (5%)+ **Eu** (0,2%). Спостерігається широка смуга люмінесценції в видимій області спектру (360-750 нм). Основний вклад в ФЛ вносять смуги випромінювання, розташовані на довжинах хвиль 460 нм та 595 нм. Максимальна інтенсивність ФЛ спостерігається на довжині хвилі 595 нм для зразків з комбінованим легуванням плівки нанокристалічного кремнію домішками **Dy** та **Eu** (5% та 0.2%, відповідно).

На рис.2. представлено TOF-SIMS профілі розподілу домішок **Na**, **Si**, **Eu** та **Dy** в шарі нанокристалічного кремнію. Максимуми на профілі розподілу **Na** фіксують границі напиленого шару. Максимальна концентрація **Dy** спостерігається на границі розділу *a-Si/Si*. Домішка **Eu** має однорідний розподіл по товщині плівки.

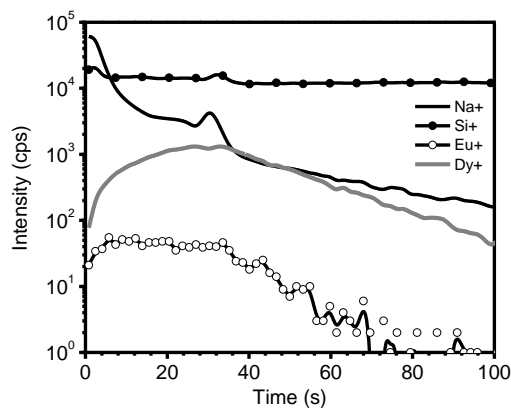
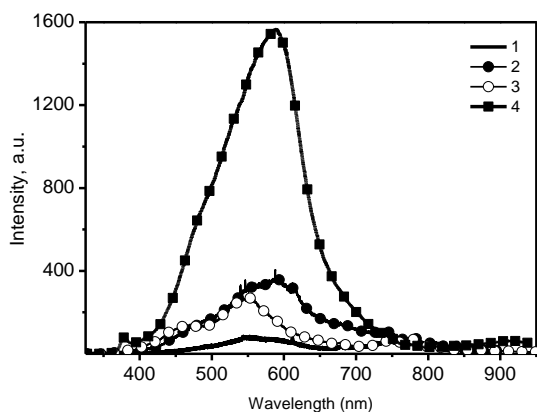


Рис.1. ФЛ спектри плівок a-Si, легованих РЗМ: 1- Y, 2- Eu, 3- Dy та 4- Dy (5%) + Eu (2%).

Рис.2. TOF-SIMS профілі розподілу домішок в плівці a-Si, легованій Dy та Eu.

Суттєве збільшення інтенсивності ФЛ відбувається за рахунок поглинання УФ випромінювання на енергетичних рівнях диспрозію, а випромінювальна рекомбінація через рівні 5D_0 європію, що підтверджується енергетичною діаграмою, яка приведена на рис. 3.

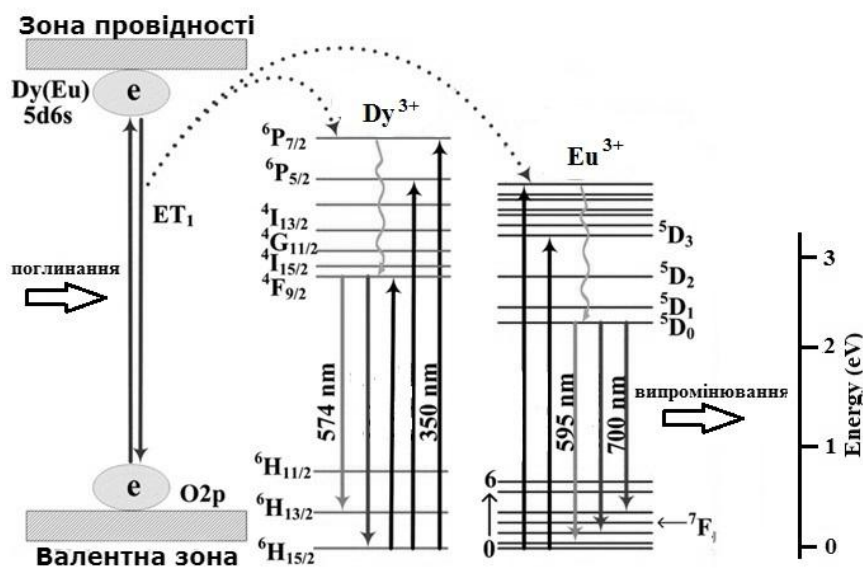


Рис.3 Схематичне зображення енергетичних рівнів та процесів поглинання і випромінювання світла.

Можна зробити висновок, що для виготовлення сонячних елементів найбільш перспективним матеріалом є **nc-Si:Dy:Eu**, синтезований при підвищеній температурі. Важливим фактором є співвідношення концентрацій елементів та температурний режим нанесення плівок. Використання легованих нанокристалічних шарів кремнію дозволило підвищити чутливість фотоелементів в короткохвильовій області спектру, а також підвищити ефективність сонячних фотоперетворювачів за рахунок використання УФ ділянки сонячного світла.

СЕКЦІЯ «ФОТОНІКА ТА ФОТОВОЛЬТАІКА»

УДК 535.247.4

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ФОТОПРИЙМАЛЬНОГО КАНАЛУ ІМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЕКОМІРА

Федоренко А.В.¹, Мельник В.К.²

¹Інституту фізики напівпровідників імені В.Є.Лашкарьова, аспірант,
НАН України, м. Київ, ORCID: 0000-0001-6201-6129, E-mail: aartemaa@gmail.com

²Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім.
Ігоря Сікорського”, м. Київ, E-mail: vladmelnik803@gmail.com, студент

Анотація: У роботі розглянуто структуру імпульсного лазерного далекоміра та способи його вдосконалення, а саме підвищення чутливості фотоприймального каналу за допомогою просвітлення вхідного вікна фотоприймача - кремнієвого фільтра.

Ключові слова: Дальнометрія, лазерний далекомір, фотоприймач, просвітлення.

Annotation: In this paper the structure of the pulsed laser range finder and methods of its improvement are considered, namely, increasing the sensitivity of the photodetector channel by illuminating the input window of the photodetector - the silicon filter.

Keywords: distance measurement, laser range finder, photodetector, enlightenment.

Вимірювання відстані є однією з найважливіших задач для багатьох сфер науки і техніки, таких як: системи глобального позиціонування, геодезія, будівництво та військова справа. Одним з основних приладів за допомогою яких виконується дана задача являються лазерні далекоміри, технології їх створення активно розвиваються сьогодні у всьому світі [1].

Актуальними напрямками вдосконалення далекомірів є: підвищення їх точності та максимальної відстані вимірювання, компактності, надійності, безпечності для зору людини [2]. Для збільшення дальності дії імпульсних лазерних далекомірів необхідними задачами є: підвищення частоти слідування, потужності випромінюваних імпульсів та підвищення чутливості фотоприймального каналу далекоміра [3].

Задачі підвищення частоти слідування та потужності імпульсів, що випромінюються потребують вдосконалення джерела сигналу - імпульсного лазера. Підвищення чутливості фотоприймального каналу лазерного далекоміра можливо за рахунок удосконалення самого фотодіода, який виконує функції фотоприймача в складі далекоміра та максимізації кількості світла потрапляючого на нього через оптичну систему. Світловий потік послаблюється в атмосфері, тільки частина з нього відбивається в зворотньому напрямку від об'єкта, до якого проводиться вимірювання та втрачається на кожному елементі оптичної системи через яку проходить.

Якщо на саму атмосферу та об'єкт ми вплинути не можемо необхідно максимально збільшити пропускну здатність оптичних елементів. Для цього на елементи оптики наносять просвітлюючі покриття [4].

Розглянемо фотоприймач рис.1, в склад якого входить швидкодіючий р-і-п германієвий фотодіод та вхідне кремнієве вікно, яке необхідне для виділення вузького інфрачервоного діапазону, щоб запобігти потраплянню стороннього випромінювання та утворення шкідливих шумів. Для фотодіоду вперше застосовано в якості пасивуючого та ізолюючого шару ZnSe з максимально наближеним до германію коефіцієнтом термічного розширення, який унеможливує створення шкідливих термомеханічних напружень навіть при товщинах 0,5-1,5 мкм.

Для кремнію коефіцієнт відбиття в діапазоні 1,5-1,7 мкм рівний 35-40% [5]. Щоб уникнути таких великих втрат світлового потоку потрібно нанести просвітлююче покриття. Існує безліч покриттів, як одно- так і багатошарових, які підбираються для заданого матеріалу, спектрального діапазону та інших умов для конкретного пристрою [6].

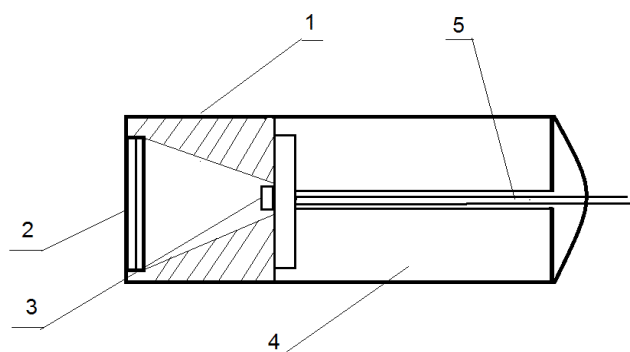


Рис. 1. Схема фотоприймача
(1 – корпус, 2 – оптичне вікно з фільтром, 3 – фоточутливий елемент, 4- герметик, 5 – коаксіальний кабель)

Нами було обрано, за допомогою стандарту для вибору покриття оптичних деталей [7], покриття яке задовольняє дані потреби 90 ИЭ – це одношарове оптичне покриття HfO_2 (Двоокис гафнію) товщиною 400 нм. Відомі такі нанесення двоокису гафнію вирощування реактивним розпиленням під високим тиском [8], підходящого для інфрачервоного діапазону. Просвітлюючий шар HfO_2 був нанесений з обох сторін вікна таким чином зроблено повне одношарове просвітлення.

Спектральні дослідження показали, що виготовлені зразки фільтрів мали пропускну здатність на робочій довжині хвилі 96%, тобто майже вдвічі збільшена кількість світлового випромінювання, яке фіксуватиметься фотоприймачем.

Література:

1. Федоренко А.В., Качур Н.В., Маслов В.П., Тенденції розвитку приладів лазерної дальнометрії / А.В. Федоренко, Н.В. Качур, В.П. Маслов, А.Е. Арустамян / V Всеукраїнська науково-практична конференція - Наукові Дослідження: Перспективи Інновацій У Суспільстві І Розвитку Технологій, Харків, 2017р, Україна – 86-90 с.
2. Нечипорук А.А., Старчевский Ю.Л. Фотоприёмник для дальномера в безопасном для глаз диапазоне 1,54 МКМ // Биомедицинская инженерия и электроника, 2013, № 1(3).- с. 37-38
3. Фираго А.В., Увеличение дальности действия лазерных дальнометров с безопасным для глаз излучением, В.А. Фираго, И.П. Петрович, А.С. Буйко, Д.В. Шумак / Издательский центр БГУ, Минск 2010 - с.141-143
4. Сулим А.В. Производство оптических деталей / А.В. Сулим – Высшая школа Москва, 1975 – с.274-277
5. Рожков В.А., Родионов М.А., Просветляющие свойства пленок оксида эрбия / В.А. Рожков, М.А. Родионов – Письма в ЖТФ, 2005, том 31, вып. 2– с.67-68
6. Хафез А., Просветляющие покрытия для ИК-области спектра / Губанова Л. А., Хафез А. – Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 2002г. № 1 (5) – с. 155-156
7. ОСТ 3–1901–95. Покрытия оптических деталей. Типы, основные параметры и методы контроля. – Введ. 1995–07–06. М.: ЦНИИ «Комплекс», 1995. С. 32.
8. Martínez F. L., Optical properties and structure of HfO_2 thin films grown by high pressure reactive sputtering / F. L. Martínez, M. Toledano-Luque, J. J. Gandía, J. Cárabe, W. Bohne, J. Röhrich, E. Strub, I. Mártil – Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 40, 2007 – p. 21

УДК 519.711.3:621.311.243

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ, ВИКОНАНИХ НА БАЗІ СТРУКТУРИ SnS/ZnS/FTO

Іващенко М.М.¹, Бурик І.П.¹, Кузьмін Д.В.¹, Гришко І.А.², Опанасюк А.С.²

¹ORCID 0000-0002-4611-0956, ст. викладач, Конотопський інститут Сумського державного університету, пр. Миру, 24, м. Конотоп

¹ORCID 0000-0003-4520-4296, зав. кафедри, Конотопський інститут Сумського державного університету, пр. Миру, 24, м. Конотоп

¹ORCID 0000-0003-3756-2480, ст. викладач, Конотопський інститут Сумського державного університету, пр. Миру, 24, м. Конотоп

²ORCID 0000-0002-5709-1359, доцент, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ

³ORCID 0000-0002-1888-3935, зав. кафедри, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми. e-mail: m.ivashchenko@ki.sumdu.edu.ua; opanasyuk_sumdu@ukr.net

Анотація: Проведене числове моделювання таких експлуатаційних характеристик фотоелектричних перетворювачів, виконаних на базі структури SnS/ZnS/FTO, як: густина струму короткого замикання, напруга холостого ходу, фактор заповнення, коефіцієнт корисної дії. Процес моделювання проводився з використанням програмного пакету SCAPS. Було встановлено оптимальні фізико-технологічні режими отримання шарів змодельованої гетероструктури.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач, моделювання, SCAPS, SnS, ZnS, FTO.

Annotation: It was carried out a numerical simulation of SnS/ZnS/FTO-based photo-electronic convertors working characteristics, namely: short-circuit current density, open-circuit voltage, fill-factor, efficiency. Simulation process is calculated using SCAPS software package. There are estimated the optimal physical and technological deposition regimes of modelled hetero-structure layers.

Key words: photo-electric converter, simulation, SCAPS, SnS, ZnS, FTO.

Широке використання відновлювальних джерел енергії, серед яких можна виділити енергію сонячного випромінювання, є одним зі шляхів подолання глобальної енергетичної кризи [1]. На сучасному етапі розвитку геліоенергетики застосування в якості базових шарів фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) матеріалів, які не містять у своєму складі токсичних елементів або важких металів, є актуальним з точки зору «зеленої енергетики» [2]. З вищезазначених критеріїв, нами була обрана структура ФЕП на основі гетеросистеми SnS/ZnS/FTO. Так, усі компоненти даного ФЕП не містять в своєму складі такого широко поширеного у сонячних елементах (СЕ) другого покоління, як кадмій. Окрім того, значення оптичної ширини забороненої зони сульфїду олова ($E_g = 1,35$ eV) є близьким до значення оптимуму Шоклі-Квайсера ($E_g = 1,50$ eV), що дозволить у подальшому отримати ФЕП з максимально наближеною до ідеальної поглинаючою здатністю. Сульфїд цинку (ZnS) має значення ширини забороненої зони ($E_g = 3,70$ eV), яке дозволяє зробити висновок про можливість використання даної сполуки в якості «віконного шару» ФЕП високої ефективності. З'єднання на основі фтору, олова та оксиду (FTO) є доцільною альтернативою сполуці InSnO₂ (ITO) у використанні в якості прозорого струмопровідного шару (фронтального контакту). До того ж, сполука FTO не містить мало поширений у природі хімічний елемент індій (In), що значно здешевить вартість ФЕП. Однак, вплив таких фізико-технологічних режимів отримання базових шарів СЕ, як товщини поглинаючого шару (SnS), віконного шару (ZnS), фронтального струмопровідного шару (FTO) та робочої температури фотоперетворювача на такі робочі характеристики, як густина струму короткого замикання J_{SC} , напругу холостого ходу U_{OC} , фактор заповнення FF та коефіцієнт корисної дії η , є мало

вивченими, що й зумовило мету даної роботи – проведення числового моделювання робочих характеристики ФЕП на основі гетероструктури SnS/ZnS/FTO для встановлення режимів отримання структурних шарів з оптимальними характеристиками.

Числове моделювання проводилось з використанням програмного пакету SCAPS-3201 [3] з урахуванням наступних умов: діапазон приведеної напруги складав 0-0,8 В; для забезпечення моделювання експлуатаційних параметрів світлових вольт-амперних характеристик (ВАХ) був обраний індекс повітряної маси, характерний для помірних кліматичних умов, а саме АМ 1,5, при якому значення інтегральної поверхневої щільності сонячного випромінювання складає 835 Вт/м². При моделюванні квантової ефективності був обраний діапазон довжин хвиль світлового випромінювання $\lambda = 300-900$ нм. В Табл. 1 приведені базові дані базовим шарам ФЕП для проведення моделювання.

Таблиця 1 – Вхідні параметри базових шарів ФЕП на основі гетероструктури SnS/ZnS/FTO

Параметр	SnS	ZnS	FTO
Ширина забороненої зони, eV	1,25	3,68	3,80
Спорідненість електрона, eV	4,20	4,45	4,50
Відносна діелектрична стала	16,00	8,30	10,00
Еф. густина станів у вал. зоні, см ⁻¹	$8,90 \times 10^{18}$	$6,34 \times 10^{18}$	$1,20 \times 10^{20}$
Еф. густина станів у зоні пров., см ⁻¹	$1,00 \times 10^{18}$	$1,46 \times 10^{19}$	$7,00 \times 10^{20}$
Швидкість електронів, см/с	$1,00 \times 10^7$	$1,00 \times 10^7$	$1,00 \times 10^7$
Швидкість дірок, см/с	$1,00 \times 10^7$	$1,00 \times 10^7$	$1,00 \times 10^7$
Рухливість електронів, см ² /В·с	100	30	100
Рухливість дірок, см ² /В·с	25	7	20
Ефективна маса електронів	-	0,40	0,29
Ефективна маса дірок	0,50	-	-

В ході проведення моделювання спочатку обиралися типові фізико-технологічні режими отримання шарів, а саме: товщина поглинаючого шару SnS складала 3 мкм, віконного шару ZnS – 200 нм, струмопровідного шару FTO – 200 нм, температура нагріву ФЕП – 300 К. В подальшому для окремого шару варіювалася його товщина при незмінних значеннях товщин інших двох. Діапазони товщин окремих шарів складали: для шару SnS – $d = 1,0 - 4,0$ мкм; для шару ZnS – $d = 25 - 250$ нм; для шару FTO – $d = 25 - 250$ нм. Після цього обиралися така товщина шару, яка забезпечувала б оптимальні робочі характеристики ФЕП, насамперед – максимальне значення коефіцієнту корисної дії. Після оптимізації товщин базових шарів обиралися оптимальна температура нагрівання ФЕП з діапазону $T = 290 - 340$ К.

В результаті проведення числового моделювання ФЕП були встановлені наступні оптимальні фізико-технологічні режими отримання базових шарів системи SnS/ZnS/FTO: товщина поглинаючого шару SnS – 2,5 мкм; товщина віконного шару ZnS – 25 нм, товщина струмопровідного шару FTO – 25 нм; робоча температура ФЕП – 290 К. Застосування наведених режимів отримання шарів дозволили отримати наступні експлуатаційні характеристики ФЕП як результати числового моделювання: густина струму короткого замикання $J_{SC} = 24,41$ мА/см²; напруга холостого ходу $U_{OC} = 0,56$ В; фактор заповнення $FF = 64,22$ %; коефіцієнт корисної дії $\eta = 8,77$ %. Отримані дані дають змогу зробити висновок про перспективу використання ФЕП, оснований на даній структурі, у геліоенергетиці.

1. T.R. Rana, S.Y. Kim, J. Kim. Existence of multiple phases and defects of SnS absorber and its detrimental effect on efficiency of SnS solar cell / Current Applied Physics, **18**(6). – 2018. – P. 663 – 666.

2. N.K. Youn, H.R. Jung, J. Kwon, et al. Fabrication of SnS solar cells via facile nanoparticle synthesis based on non-toxic solvents / Thin Solid Films. – **660**. – 2018. – P. 294 – 300.

3. M.M. Ivashchenko, A.S. Opanasyuk, I.P. Buryk, et al. Numerical simulation of SnS-based solar cells / Journal of Nano- and Electronic Physics. – **10(3)**. – 2018. – P. 03004(1) – 03004(6).

УДК 621.38

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ТЕЛУРИДА КАДМІЮ

Коломоєць Г.Г.,¹ Мізіченко Т.М.²

¹ ORCID: 0000-0003-2604-6333, канд. фіз.-мат. наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія. kolombozgia@gmail.com,

² в.о. директора КПНЗ «Станція юних техніків» Дніпровської міської ради, м. Дніпро,

Анотація: Розглянуті шляхи підвищення к.к.д. тонкоплівкових сонячних елементів на основі телурида кадмію. Надані рекомендації щодо подальших пошуків таких шляхів.

Ключові слова: сонячний елемент, телурид кадмію, коефіцієнт корисної дії.

Annotation: The ways of efficiency coefficient increasing for thin films solar elements based on cadmium telluride are observed. The recommendations as to the further searching of such ways are given.

Key words: solar element, cadmium telluride, coefficient of efficiency.

Нещодавно було опубліковано низку повідомлень (наприклад, [1,2]) про отримання тонких плівок на основі CdS/CdTe, що відрізняється високою технологічністю. Однак, автори повідомляють, що їх широкомасштабне промислове виробництво стримується низьким значенням к.к.д. експериментальних зразків. Низьке значення к.к.д., незважаючи на високу технологічність сучасних вакуумних методів отримання плівок сульфід кадмію та телуриду кадмію обумовлене в значній мірі фізико-технологічними проблемами формування низькоомних тильних контактів до базових шарів р-CdTe. У той же час, згідно з [1], максимальне експериментальне значення к.к.д. таких плівок складає 16,5%, про що було повідомлен також у роботі [3]. Згідно з [3] це значення к.к.д. було зафіксовано для гетеросистеми CdS/CdTe під час реалізації тильно-бар'єрної структури.

Для використання в якості тильного контакту здійснювалося нанесення графітової пасти HgTe:CuTe з подальшим нанесенням срібної пасти та антивідбиваючого шару MgF₂.

Було зазначено [2], що тонкоплівкові сонячні елементи на основі телурида кадмію, які були отримані методом осадження на скляну поверхню, уступають за питомою потужністю гнучким сонячним елементам на поліамідних плівках, які в останні часи почала виробляти низка західних фірм. Крім того, було зазначено [2], що такі сонячні елементи мають термостабільність аж до 450°C. Таким чином, співставлення експериментальних досліджень ефективності, вихідних параметрів та наведеної потужності тонкоплівкових сонячних елементів на основі телурида кадмію, що були виготовлені на скляних підкладках та на поліамідних плівках в нинішній час є досить актуальним.

Оскільки тонкі плівки на основі гетеропереходів між сульфідом кадмію та телуридом кадмію демонструють більш високі значення к.к.д., ніж тонкі плівки на основі чистих матеріалів, та, водночас, в таких гетеропереходах немає розриву зони провідності, на наш погляд, перспективними можуть виявитися пошуки оптимального співвідношення товщин шарів обох напівпровідників в таких елементах.

Література:

1.Хрипунов Г.С. Увеличение эффективности плёночных солнечных элементов на основе телурида кадмия [Текст]/ Г.С. Хрипунов, С.А. Вамболь, Н.В. Дейнеко, Я.А. Сычикова//Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 6/5 (84). – 2016.

2. Хрипунов Г.С. Гибкие солнечные элементы ТМО/CdS/CdTe/Cu/Au с высокой удельной мощностью [Текст]/ Г.С. Хрипунов, Б.Т. Бойко// ФИП. – Т. 2. - № 1 – 2. – С. 69-73.
3. Wu, X. 16,5% - Efficient CdS/CdTe polycrystalline thin-film solar cell [Text]/ X. Wu, J.C. Keane, R.G. Dhere, C. Dehart, D.S. Albin, A. Duda et. all.// 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munich, Germany, 2001. – P. 995 – 1000.

УДК 621.3

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ НЕВПОРЯДКОВАНОГО КРЕМНІЮ

Строїтелева Н.І.

канд. фіз.-мат.наук, доцент кафедри МЕІС ЗДІА, nina.str.nina@gmail.com

В останні десятиліття у всьому світі спостерігається інтенсивний розвиток тонкоплівкової сонячної енергетики. Одним з основних матеріалів, що використовується у тонкоплівкових сонячних елементах (СЕ) і забезпечує істотне зниження вартості вату виробленої потужності, є аморфний гідрогенізований кремній (a-Si: H). Інтерес до плівок a-Si: H пов'язаний в першу чергу з низькою вартістю матеріалу, високим значенням коефіцієнта поглинання у видимій області і сумісністю технології отримання цього матеріалу з технологіями створення приладів великих площ [1-2]. Найбільш істотним недоліком a-Si: H є деградація його фотоелектричних параметрів під дією тривалого освітлення. Переваги сонячних елементів на основі a-Si: H у порівнянні з аналогічними полікристалічними кремнієвими елементами обумовлені більш низькими температурами їх виготовлення (573K), що дозволяє використовувати дешеві скляні підкладки з нанесеними на їх поверхню прозорими оксидами (TCO), які виконують функцію електродів струмознімання.

Питання якості та надійності сонячних елементів (СЕ) є одією з головних проблем сучасної електроніки. В роботі проаналізовані сучасні напрямки підвищення ефективності та стабільності основних параметрів СЕ на підставі неупорядкованого кремнію. Для підвищення якості СЕ на основі аморфного кремнію необхідно забезпечити підвищення ефективності перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію та збільшити стабільність основних параметрів сонячних батарей до тривалої дії випромінювання. Вирішення таких проблем пов'язане з розвитком методів отримання більш досконалих за властивостями аморфних матеріалів та вдосконалення структур СЕ на їх основі.

Основні переваги аморфного кремнію це:

- дешевизна пристроїв на його основі та її технологічна сумісність з пристроями на основі монокристалічного c-Si;
- можливість отримання тонких плівок практично на будь-яких підкладках;
- радіаційна стійкість, що забезпечує стабільну роботу приладів в умовах впливу іонізуючого випромінювання;
- більш високий порівняно з монокристалічним кремнієм коефіцієнт поглинання та фоточутливість, що обумовлені неупорядкованістю структури a-Si: H та присутністю в ній водня.

В роботі проаналізовані основні причини деградації ККД СЕ, пов'язані з виникненням метастабільних станів, обумовлених дефектами, під дією високих температур атмосфери у літній період їх експлуатації. В теперішній час для підвищення стабільності параметрів СЕ на основі аморфного кремнію оптимізуються технології формування окремих шарів та конструкції СЕ в цілому. Зменшуючи товщину СЕ можна знизити деградацію ефективності перетворення. Ефективним засобом є також використання структур на основі a-Si:H/c-Si. В таких гетероструктурах практично відсутня деградація властивостей з часом під випромінюванням. Використання таких структур є перспективним з точки зору їх використання для космічних апаратів.

Сучасні тенденції в технології некристалічних напівпровідників передбачають збереження високих оптичних та електрофізичних властивостей плівок при високих швидкостях їх росту та низькій температурі процесу. Протиріччя цих вимог полягає в тому, що збільшення швидкості росту передбачає збільшення температури підкладки для збереження у матеріалів електронних властивостей приладної якості, а зниження температури підкладки при збереженні приладних властивостей плівок досягається завдяки факторів, що знижують швидкість росту. Стандартний плазмо – хімічний метод не дозволяє комплексно вирішити цю проблему. Тому в останній час розроблюються нові методи осадження аморфних напівпровідників. Впровадження цих процесів у виробничий ланцюг призведе до значного зниження вартості виробництва.

Створення тонкопліткових СЕ на основі неупорядкованого кремнію замість кристалічного є перспективним напрямком електронної промисловості. Тонкопліткова технологія має більші потенційні можливості для зниження вартості сонячних модулів. Перспективність використання сонячних модулів та автономних енергоустановок на їх підставі у сучасному світі ні в кого не викликає сумнівів. Як показують сучасні тенденції розвитку цього напрямку широке впровадження сонячної енергетики пов'язане з економічною доцільністю та вартістю енергії, що отримується таким чином.

Література:

1. Шерченков А.А. Свойства пленок а- (Si, Ge):H, полученных высокоскоростным методом осаждения из газовой фазы в низкочастотной плазме тлеющего разряда // Изв. Вузов Сер. Материалы электронной техники. 2003. №1. С.48-51.

2. Хрипко С.Л. Оптичні властивості нанокристалічних шарів пористого кремнію і легованих оксидних нанокристалічних плівок // Формування та дослідження наноструктурованих матеріалів для фотовольтаїки / Монографія. під ред. Д.І. Левінзона. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. – С. 135-256 с.

УДК 621.38

ГЕНЕРАТОР УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ІЗ ЖИВЛЕННЯМ НА СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Неумивака І.О., Коломоєць Г.Г.¹,

к.ф.-м.н., доцент, Запорізька державна інженерна академія

Електрична схема генератора складається з генератора ультразвукових коливань (С3, С4, DD1.3, DD1.4, R3, R4), модулятора низької частоти (С1, С4, DD1.4, R1, R2), підсилювача потужності на транзисторах VT1- VT3, випромінювача, в якості якого використовується високочастотний гучномовець 4ГДВ-1.

Генератор випромінює частотно-модульовані коливання в діапазоні 15 ... 40 кГц. Частоту можна регулювати резистором R4, частота модуляції регулюється резистором R2 в межах 2-10 Гц.

Якщо встановити контакт SB1 таким чином, що при несанкціонованому проникненні в приміщення цей контакт замикався, генератор може працювати, як сирена охоронної сигналізації, оскільки починає випромінювати модульовані коливання по частоті коливання в діапазоні 1000-2000Гц.

Резисторами R2-R4 можна змінювати параметри випромінювання 2-3. Або ж конденсатор С4 з'єднати з відрізком проводу, що створює додаткову ємність, мінливу при зміні температури і вологості. Тоді частота буде змінюється у випадковому порядку [1].

Зміна резонансної частоти коливальних систем відбувається через нагрівання пьезокерамічних матеріалів, відбиваючої і випромінюючої металевих накладок (нагрів до 100 о С знижує резонансну частоту на 0,5 1 кГц). Зміна акустичних властивостей

оброблених середовищ може змінювати резонансну частоту коливальної системи на 0,5 кГц.

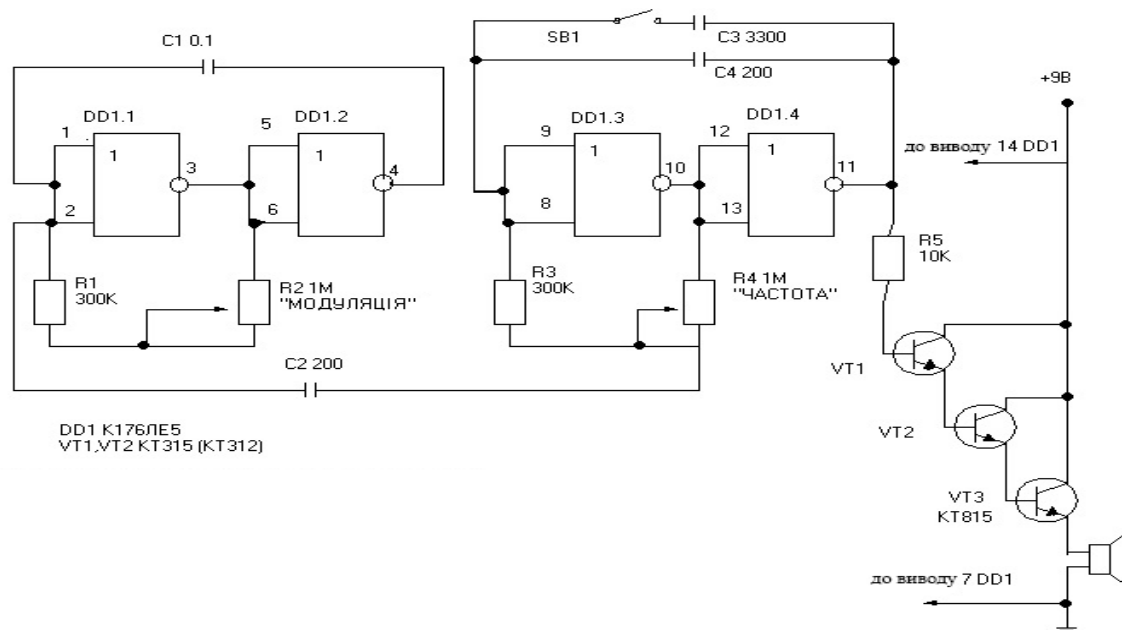


Рисунок 1 – Схема генератора ультразвукових коливань

Живлення на сонячних елементах генератора ультразвукових коливань дозволяє розширити сферу використання таких пристроїв, подовжуючи їх роботу коли живлення від мережі неможливе.

Література:

1. otpugiwateli.ru [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] – Режим доступу: www.otpugiwateli.ru/skhema_otpugiwatelya.html (дата звернення 30.10.2018). – Назва з екрана.

УДК 004.89

БАЙЄСІВСЬКА МЕРЕЖА ДОВІРИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ

Кісельов Є.М.¹, Таранець А.В.²

¹ORCID: 0000-0001-5844-7268, доцент, кафедра мікроелектронних інформаційних систем, Запорізька державна інженерна академія, e-mail: egor@zgia.zp.ua,

²ORCID: 0000-0003-4141-2215, старший викладач, кафедра електронних інформаційних систем, Запорізька державна інженерна академія, e-mail: awtar@i.ua

Анотація: запропоновано імовірнісну модель сонячної батареї з цільовою функцією у вигляді ефективності перетворення сонячної енергії. Проведено дослідження розробленої байєсівської мережі довіри в оболонці експертних систем HUGIN Lite

Ключові слова: сонячна батарея, вершини шансів, експертні системи

Annotation: A probabilistic model of a solar cell with a target function in the form of the efficiency of conversion of solar energy is proposed. The research of the developed Bayesian trust network in the shell of expert systems of HUGIN Lite was conducted

Key words: solar battery, peaks of chance, expert systems

Ефективність перетворення випромінювання в сонячній енергетиці визначає раціональність використання сонячних батарей як альтернативних джерел електроенергії. Ця характеристика визначається як конструктивно-технологічними особливостями сонячних

станцій, так і зовнішнім впливом на них навколишнього середовища [1]. Таким чином, актуальною є задача узгодження зовнішніх впливів на функціонування таких комплексів і систем.

Поставлена задача може бути вирішена на основі синтезу і дослідження імітаційної моделі сонячної батареї з цільовою функцією у вигляді ефективності перетворення сонячної енергії. Ідентифікація параметрів моделі дозволяє визначити їх у вигляді групи керованих величин, таких як кут падіння випромінювання на перетворювач і стан його поверхні, і групи незалежних величин, які визначаються річними і добовими змінами параметрів навколишнього середовища. Оскільки останні величини характеризуються статистичною невизначеністю прояви, то була запропонована їх оцінка на основі імовірнісних вершин байесівської мережі довіри [2], що ставить в вірогідну залежність від їх стану запропоновану цільову функцію. Відповідна модель для оцінки ефективності перетворення сонячної батареї показана на рис. і включає до свого складу батьківські вершини шансів:

- «season» (пора року) з дискретними станами «winter», «spring», «summer», «autumn»;
- «time» (час доби) з дискретними станами «morning», «day», «evening», «nigth»;
- «angle» (кут падіння випромінювання на перетворювач) представляє собою безперервну випадкову величину з математичним очікуванням 90^0 .

Батьківські вершини безпосередньо пов'язані з цільовою вершиною «effect», стан якої характеризується генерується електричною потужністю. Крім того між вершинами «effect» і «season» встановлено непрямої зв'язок через вершину «surface», що визначає стан поверхні фотоелектричного модуля.

Запропонована модель була реалізована в оболонці експертних систем на байесівських мереж довіри HUGIN Lite [3], вид завдання в якій показаний на рис. в режимі ініціалізації мережі.

Результати поширення ймовірностей в розробленій моделі відображаються графічної залежності ймовірності від вироблюваної електричної потужності.

Отримані дані підтверджують результати [1] про максимальну ефективність фотоперетворювачів в літній період. Але, разом з тим, потрібне уточнення експертних оцінок, пов'язаних з впливом навколишнього середовища на стан поверхні батарей і деградацію параметрів перетворювачів.

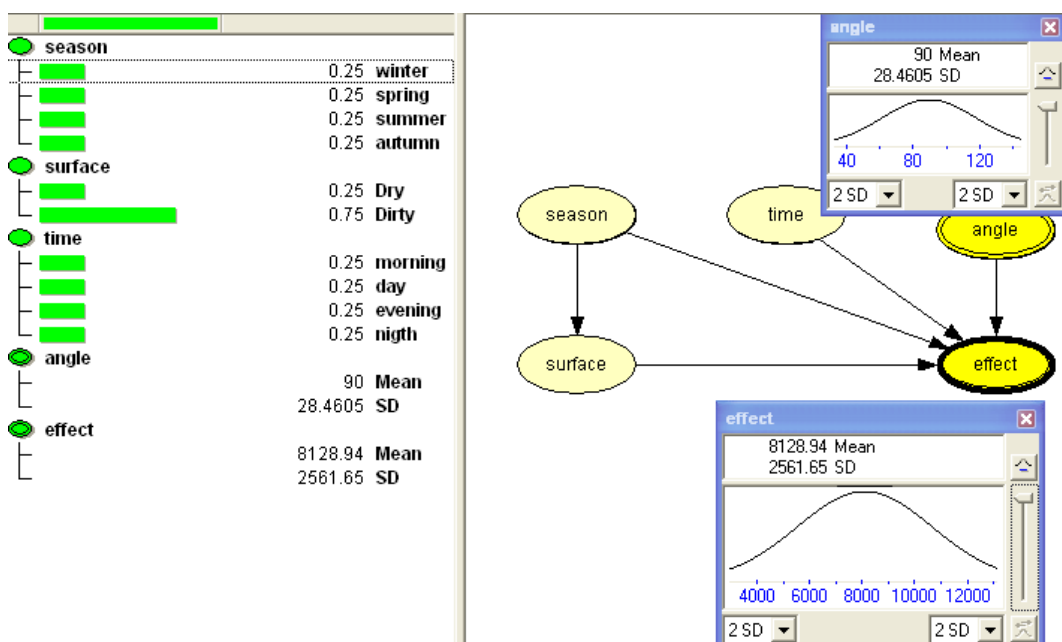


Рисунок – Байесівська мережа довіри для оцінки ефективності сонячної батареї

Подальші дослідження розробленої системи спрямовані на додавання в модель вершин корисності і рішень з метою оцінки впливу регульованих впливів на ефективність.

Література

1. Кувшинов, В.В. Исследование характеристик фотоэлектрических модулей, используемых в сетевых солнечных станциях // В.В. Кувшинов / Збірник наукових праць СНУЯЕтаП, 2013. - с. 170 – 176.
2. Експертні системи в медицині: навчальний посібник для вчз / Ю. С. Синькоп, А. М. Продеус, Є. Я. Швець, Є. М. Кісельов, М. М. Баран // НТУУ "КПІ"; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2014. – 332 с.
3. Andersen, S. K. HUGIN*— a Shell for Building Bayesian Belief Universes for Expert Systems [Електронний ресурс] / S. K. Andersen, K. G. Olesen, Finn V. Jensen, Frank Jensen. Режим доступу: <https://www.hugin.com/wp-content/uploads/2016/05/HUGIN-Building-Bayesian-Belief-Universes-for-Expert-Systems.pdf> - Дата доступу: жовт. 2018.

УДК 621.315.392

ДЖЕРЕЛО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ 200-220 нм

Еспіноса Харамільо К.Ф., Світанько М.В.*

*к.ф.-м.н., доцент, кафедра МЕІС, Запорізька державна інженерна академія

Проблема отримання джерел випромінювання в УФ (ультрафіолетова) і ВУФ (вакуумний ультрафіолет) областях спектру до теперішнього часу не втратила своєї актуальності. Генна інженерія, термоядерний синтез, медицина, екологічний моніторинг – далеко не всі сфери застосування таких джерел [1-2].

В роботі представлено розробку джерела випромінювання в діапазоні 200-220 нм за рахунок генераційних процесів у нелінійно-оптичних кристалах, отриманих в лабораторії нелінійно-оптичних перетворювачів частоти лазерного випромінювання ЗДІА [3-6].

У розроблюваній схемі основне випромінювання АІГ:Nd³⁺ лазера ($\lambda_{00}=1.064$ мкм) перетворюється за допомогою параметричного змішування II та III гармонік, отриманих у нелінійно-оптичних кристалах RbTiOPO₄(RTP) та β -BaB₂O₄(BBO) відповідно. Довжина хвилі відповідає V гармоніці АІГ:Nd³⁺ лазера і дорівнює $\lambda_{500}=0,213$ мкм.

1. Winkelman G., UV-Photolyse von Naphatalen mittels Excimer lasers//Zeitschrift fur Chemie.- V.23.- 1983.- P.417-418.

2. Kato K., Second harmonic generation to 2048 A in β -BaB₂O₄//IEEE, J. of QE.- V.22(7).- 1986.- P.1013-1014.

3. Yu.S.Oseledchik Yu.S., Osadchuk V.V., Prosvirnin A.L., Selevich A.F. Growth of BBO from Na₂O-NaF solution//J.Crystal Growth.- V. 131.-1993.- P.199-203.

4. Oseledchik Yu.S, Pisarevsky A.I., Prosvirnin A.L. et al. Nonlinear optical properties of the flux growth RTP cristal//Optical Materials.- V.3.- 1994.- P.237-242.

5. Заявка на винахід № 94012473 від 5.01.94 Спосіб вирощування нелінійно-оптичних кристалів трибората цезію. Просвірнін А.Л., Оселечник Ю.С., Осадчук В.В. та ін.//Промислова власність. - 1995. - №3.- С.289.

6. Oseledchik Yu.S., Prosvirnin A.L., Pisarevsky A.L. et al. New Nonlinear opticals crystals: strontium and lead tetraborates//Optical Materials.-V.4.- 1995.- P.669-674.

УДК 621.315.392

ЛАЗЕРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

Пома Пардо К.С., Світанько М.В.

*к.ф.-м.н., доцент, кафедра МЕІС, Запорізька державна інженерна академія

З появою лазерів і побудованих на їх основі приладів дистанційного контролю нового типу — лідарів (від англійського. Light Detection and Ranging) з'явилася можливість вирішення різних екологічних завдань, пов'язаних з дистанційним контролем довкілля [1-3].

Розвиток лазерної техніки дозволив використовувати для таких лідарних систем випромінювання, відносно безпечно для ока людини, наприклад з довжиною хвилі 1.54 мкм. Існують різні способи отримати таке випромінювання: параметрична генерація [3], вимушене комбінаційне розсіяння в стислому метані імпульсів Nd:YAG-лазера [4] або використання у якості джерела випромінювання активного елемента лазера Ег-скла [5].

В представлені роботі отримання випромінювання із довжиною хвилі 1.54 мкм здійснюється за допомогою нелінійно-оптичного кристала RbTiOPO₄(RTP), отриманого у ЗДІА [6].

1 Vilar R., Lavrov A. // Proc. SPIE. 1999. V. 3868.P. 473–485.

2. Vilar R., Lavrov A. // Appl. Phys. 2000. V. B71. P. 225–229.

2 Utkin A., Lavrov A., Costa L., Simoes F., Vilar R. // Appl. Phys. 2002. V. B74. P. 77–83.

3 Overbeck J.A., Salisbury M.S., Mark M.B., Watson E.A. // Appl. Opt. 1995. V. 34. P. 7724–7729.

4. Акулиничев В.В., Горбунов В.А., Пивинский Е.Г. // Квант. електроника. 1997. Т. 24.С. 362–366.

5. Garnish W., Trickl T. // Rev. Sci. Instrum. 1994. V. 65. P. 3324–3329.

6. Oseledchik Yu.S, Pisarevsky A.I., Prosvirnin A.L. et al. Nonlinear optical properties of the flux growth RTP cristal//Optical Materials.- V.3.- 1994.- P.237-242.

УДК 621.315.392

ОСОБЛИВОСТІ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Тауї Мохамед-Сугаїл, Хрипко С.Л.*

*ORCID: 0000-0002-0647-9935, професор, кафедра МЕІС, Запорізька державна інженерна академія, e-mail: ur9qq@ukr.net

Для успішного вирішення проблем подальшого розвитку інформаційної техніки необхідно застосовувати пристрої, робота яких основана на можливості спільного використання електронних та оптичних методів і засобів, тобто перехід від електроніки до оптоелектроніки.

При передачі інформації з використанням сигналів електромагнітних хвиль доволі часто потрібне виконання умови квазімонохроматичності, згідно якому ширина $\Delta\nu$ спектру передаваного сигналу повинна бути, принаймні, на 1-2 порядки менше, ніж значення середньої частоти ν_0 цього сигналу [1-3].

В представлені роботі проведено розрахунок ширини смуги частот передачі сигналу в оптичному діапазоні.

Оскільки ширина смуги частот передачі приблизно рівна $\Delta\nu$, для досягнення високих (десятків Гбіт/с), швидкостей передачі інформації, необхідне використання сигналів з несучою частотою що в 10-100 або більше разів вище, ніж $\Delta\nu$. Оптичний діапазон характеризується несучими частотами ν_0 порядку 10^{14} Гц. Отже, ширина смуги частот передачі сигналів тут може досягати 10^{12} – 10^{13} Гц, що недосяжно засобами техніки НВЧ. Отже, однією із перваг оптичного діапазону передачі інформації є його висока

смугопрпускна здатність, або можливість передачі інформації з надзвичайно великою швидкістю.

1. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация//«Мир».- М.- 1966 420 с.
2. Козанне А., Флере Ж., Мэтр Г., Руссо М. Оптика и связь//«Мир» .- М. - 1984.
3. Евтихийев Н.Н., Евтихьева О.А., Компанец И.Н. и др. Информационная оптика//МЭИ, М. - 2000.

УДК 621.383.51:621.791.311

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПАЙКИ СТРУМОПРОВІДНОЇ ШИНИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НЕЕВТЕКТИЧНИМ ПРИПОЄМ З ВІДСТЕЖЕННЯМ ПОЛОЖЕННЯ ГРАНИЦІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Грамов В.О.¹, Баганов Є.О.²

¹ аспірант, Херсонський національний технічний університет, gramovvo@gmail.com

² к.т.н., доц. Херсонський національний технічний університет, Херсонська державна морська академія, ye.baganov@gmail.com

Анотація: В роботі проведено математичне моделювання процесу пайки струмопровідної шини фотоелектричного перетворювача неевтектичним припоєм з синхронним переміщенням автоматичної системи пайки відносно просування фронту плавлення. На основі отриманих даних визначено оптимальні швидкості проходу системи пайки, залежно від її потужності при використанні припою ПОС60.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач, пайка, неевтектичний припій.

Annotation: In the paper the mathematical simulation of soldering process of the electrical conductive ribbon to photovoltaic cell by non-eutectic solder with synchronous movement of the automatic soldering system relative to the melting front was carried out. On the basis of the obtained data, the optimal speeds of soldering system are determined, depending on its power for Sn60Pb40 solder.

Key words: Solar cell, soldering, non-eutectic solder.

Під час пайки струмозбірних шин при формуванні фотоелектричних модулів з фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), внаслідок перегріву, виникають термомеханічні напруження у напівпровідниковому матеріалі ФЕП, які можуть призвести до появи мікротріщин, що різко погіршує ефективність ФЕП та модуля в цілому. З метою зменшення перегріву матеріалу ФЕП під час монтажу струмопровідних шин у [1] розроблено математичну модель процесу теплопереносу в компонентах ФЕП під час пайки та представлені залежності швидкості руху автоматичної системи пайки (АСП) від її потужності, при яких мінімізується перегрів ФЕП. Проте використання при моделюванні постійного кроку за часом та нерухомої прямокутної просторової сітки призводить до зниження швидкості пересування АСП внаслідок погрішності у визначенні положення фронту плавлення у часі. Також у роботі [1] не розглядалась можливість використання неевтектичних припоїв, що часто використовуються при пайці струмопровідних шин [2].

Метою даної роботи є визначення швидкості проходу АСП у залежності від її потужності, що забезпечує мінімізацію перегріву ФЕП під час процесу пайки струмопровідної шини неевтектичним припоєм шляхом урахування реального положення границі фазового переходу.

Моделювання проводилось за умов використання неевтектичного припою ПОС60, що має зону плавлення в діапазоні температур 183-190°C [3], тому питома ентальпія матеріалу припою $i(T)$ є безперервною функцією температури. Вона апроксимувалась за допомогою експоненційного наближення [4]:

$$\begin{cases} i(T) = c_s \cdot T + \frac{L}{2} \exp\left(-\frac{T_m - T}{T_m - T_s}\right), T \leq T_m \\ i(T) = c_s \cdot T_m + L + c_l \cdot (T - T_m) - \frac{L}{2} \exp\left(-\frac{T - T_m}{T_l - T_m}\right), T > T_m \end{cases} \quad 1)$$

де T – температура припою, $T_s = 183$ °С – температура лінії солідус припою, $T_l = 190$ °С – температура лінії ліквідус припою, T_m – середина температурного діапазону плавлення припою, c_s та c_l – питома теплоємність припою у твердому та розплавленому стані відповідно, L – теплота фазового переходу, при моделюванні приймалося $L = 46$ кДж/кг [3].

Оскільки $c = di/dT$, теплоємність матеріалу припою, впродовж моделювання, знаходилась диференціюванням рівнянь (1). Теплопровідність та густина, впродовж моделювання, вважалися сталими.

Моделювання проводилося за методом скінчених елементів. Для кожного кроку за часом ($t = 1$ мс) у вузлах розрахункового шаблону знаходились нові значення температур на основі температур попереднього часового шару. При цьому співвідношення для розрахунку температур у вузлах системи коригувались, зважаючи на зміну теплоємності припою при нагріванні. Для визначення нового положення границі фазового переходу знаходились точки на ребрах скінчених елементів у зоні пайки з температурою T_l . Серед визначених точок обиралась точка з мінімальною відстанню від положення АСП, яка і визначала нове положення границі зони пайки та АСП. Таким чином здійснювалось відстеження положення границі фазового переходу матеріалу припою у зоні пайки та пересування АСП одразу після його розплавлення. Після зміни геометрії системи проводилася нова триангуляція. Температури у вузлах знаходились шляхом інтерполяції. Моделювання закінчувалося по досягненню АСП краю пластини. Під час моделювання фіксувалось положення АСП на кожному часовому кроці.

На рис. 1 наведено залежності положення АСП від часу при різних її потужностях та апроксимацію залежності синхронної з фронтом плавлення швидкості проходу АСП від її потужності для 156 мм пластини ФЕП з товщиною 200 мкм. Внаслідок мінімізації часу контакту АСП з ФЕП мінімізується і перегрів останнього.

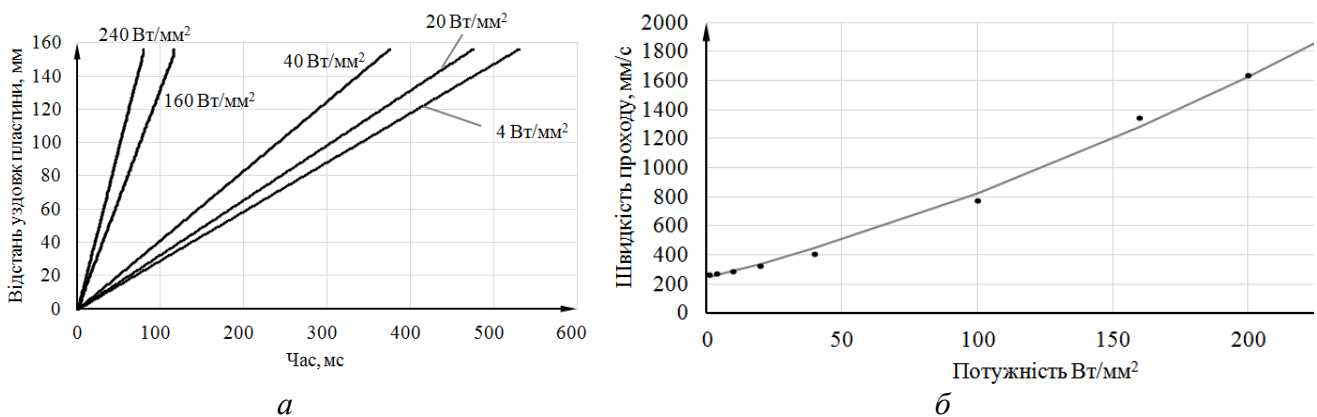


Рис. 1. Залежності положення АСП від часу при різних її потужностях (а) та апроксимація залежності синхронної з фронтом плавлення швидкості проходу АСП від її потужності (б)

Розроблена модель дозволяє визначати максимальну технологічно можливу швидкість проходу АСП при пайці струмопровідних шин, у тому числі – неевтектичним припоєм, що дозволяє скоротити час контакту АСП та ФЕП і мінімізувати перегрів ФЕП під час пайки.

1. Baganov Ye. A. Simulation of spot soldering process for crystalline silicon solar cells / Ye.A. Baganov, V.O. Gramov // Вісник ХНТУ. — 2017. — №1(60). — С. 199—205.

2. Kang M. Comparison of the 60Sn40Pb and 62Sn2Ag36Pb Solders for a PV Ribbon Joint in Photovoltaic Modules Using the Thermal Shock Test / M.Kang, Y. Jeon, D. Kim, Y. Shin // Energies. Vol. 10(4), No. 529. — 2017.
3. Цветные металлы и сплавы: справочник. — Н. Новгород: Вента-2, 2001. — 278 с.
4. Egolf P. Theory and modeling of phase change materials with and without mushy regions / P. Egolf, H. Manz // International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 37, No. 18. — 1994. — 2917-2924 pp.

СЕКЦІЯ «ПРИЛАДИ Й ПРИСТРОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМ»

УДК 53.082

ПЕРЕВІРКА ТОЧНОСТІ ВІДХИЛЕННЯ КАНТИЛЕВЕРУ АТОМНО-СИЛОВОГО МІКРОСКОПУ В ПРОЦЕСІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

Андрієнко О.І.¹, Бондаренко М.О.²

¹ аспірант, кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій Черкаського державного технологічного університету

² ORCID ID 0000-0002-5927-0326, к.т.н., доцент, кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій Черкаського державного технологічного університету, maxhium23@gmail.com

Анотація: В матеріалах доповіді визначаються параметри, що впливають на точність відхилення кантилеверу атомно-силового мікроскопу та, відповідно, точність дослідження рельєфу наноструктурованих поверхонь. Показано, що найбільший вплив на точність відхилення кантилеверу чинять теплові шуми. Проведено розрахунок значень теплових шумів та відхилення кантилеверу та встановлено, що за максимальних значень амплітуди теплових шумів у 2 нм, відхилення кантилеверу складатиме 14,2 нм, що необхідно враховувати при визначенні реальної величини нанорельєфу досліджуваної поверхні.

Ключові слова: атомно-силовий мікроскоп, кантилевер, точність, контроль, наноструктурована поверхня.

Annotation: The parameters that influence the accuracy of the deflection of the cantilever of the atomic force microscope and the accuracy of the study of the relief of the nanostructured surfaces are determined in the report. It is shown that the greatest influence on the accuracy of the cantilever's deflection is caused by thermal noise. Calculation of thermal noise and cantilever deviation are calculated. It was established that for maximum values of the amplitude of thermal noise at 2 nm, the cantilever deviation would be 14,2 nm. This must be taken into account when determining the real value of the nanorrelief of the investigated surface.

Key words: atomic force microscope, cantilever, precision, control, nanostructured surface

На сьогоднішній день метод атомно-силової мікроскопії (АСМ) набуває значного поширення та популярності [1] і є єдиним методом неруйнівного контролю, що дозволяє з високою точністю та чутливістю проводити дослідження рельєфу наноструктурованих поверхонь. При цьому дотримання високої точності та чутливості, а також максимальне усунення артефактів дослідження забезпечується точністю та надійністю роботи вимірювальної системи АСМ.

В роботі [2], авторами доведено, що для коректної роботи вимірювальної системи в контактному режимі важливим параметром є точність вимірювання відхилення кантилеверу АСМ. Ця точність визначається рівнем теплових шумів самого кантилеверу, а також шумами оптичної системи.

Поява шумів в оптичній схемі вимірювальної системи, на думку авторів, пов'язана з використанням лазера в якості вимірювача положення кантилевера. По-перше, лазерне випромінювання, що використовується в таких системах, як правило є нестабільним по потужності (інтенсивність лазерного випромінювання може відхилятися від середнього, номінального значення). При цьому, периферійна частина лазерного променя, відбиваючись від досліджуваної поверхні та потрапляючи на фотодіод спотворює сигнал "Deflection" (сигнал, що формується оптичною системою лазерного позиціонера, і фактично визначає вертикальне відхилення зонду АСМ відносно поверхні). Наприклад, якщо частина променя, яка потрапляє на верхню половину фотодіоду, знаходиться ближче до центру гаусівського

розподілу інтенсивності в пучку ніж нижня, то при невеликому збільшенні потужності сумарна інтенсивність на верхній половині фотодіоду збільшиться сильніше, ніж на нижній. Це призведе до збільшення сигналу “Deflection” і, як наслідок, помилкового спрацьовування зворотного зв'язку.

Ще однією причиною виникнення шумів в оптичній системі є флуктуація осі лазерного променя. Відхилення осі променя призводить до відхилення відбитого на фотодіоді променя. При цьому, експериментально доведено [3], що відхилення осі променя на 50 мкрад рівнозначне переміщенню кантилеверу з довжиною консолі 350 мкм, приблизно на 7 нм по вертикалі.

З іншого боку, при флуктуаціях розміру лазерного променя також може змінюватися сигнал “Deflection”. Так, якщо частина променя, що потрапляє на верхню частину фотодіоду більше за ту, яка потрапляє на нижню його частину, то при збільшенні діаметру променя, буде спостерігатися значне збільшення інтенсивності саме у верхній частині фотодіоду. Враховуючи, що інтенсивність пропорційна площі перетину лазерного променя, відбуватиметься подальше збільшення розходження між значеннями інтенсивності верхньої та нижньої частини, а, отже, і сигналу “Deflection”.

Величина теплових шумів (k) та відхилення (A) кантилеверу пов'язані між собою та теоретично можуть бути розраховані за наступними формулами:

$$k = \frac{E \cdot h^3 \cdot w}{4 \cdot l^3}; \quad A = \sqrt{\frac{T \cdot k_b}{k}},$$

де E – модуль Юнга матеріалу кантилеверу, l , w , h – довжина, ширина і товщина кантилеверу, k – жорсткість кантилеверу, k_b – постійна Больцмана ($k_b = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T – температура вимірювальної системи.

Провівши розрахунок для кремнієвого кантилеверу CSC-12 ($E = 10^9$ ГПа) довжиною $l = 350$ мкм, шириною $w = 32,5$ мкм і товщиною $h = 1$ мкм за нормальних кліматичних умов ($T = 293$ К) були визначені значення максимальної амплітуди теплових шумів та відхилень кантилеверу, що складатимуть:

$$k = \frac{1,09 \cdot 10^{11} \cdot (10^{-6})^3 \cdot 32,5 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot (3,5 \cdot 10^{-4})^3} = 2 \cdot 10^{-9} = 2 \text{ нм}, \quad A = \sqrt{\frac{293 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{2 \cdot 10^{-9}}} = 14,2 \cdot 10^{-9} = 14,2 \text{ нм}.$$

Порівнявши результати теоретичних розрахунків з результатами експерименту, наведеними в роботі [4], можна зробити висновок, що найбільший вплив на точність відхилення кантилеверу чинять саме теплові шуми, ефективне усунення яких можливе стабілізацією температури в зоні проведення вимірювань [5].

Література:

1. Антонюк В.С. Перспективи використання методу атомно-силової мікроскопії при комплексному контролі елементів приладів точного приладобудування / В.С.Антонюк, Ю.Ю.Бондаренко, М.О.Бондаренко, С.О.Білокінь [та ін.] // Перспективні технології та прилади: зб. наук. праць. – м.Луцьк: ЛНТУ. – 2014. – Вип. 5. – С. 5-9.
2. Бондаренко М.О. Корегування точності вимірювання методом АСМ нанорозмірних структур утворених на поверхнях функціональних матеріалів / М.О.Бондаренко, Ю.Ю.Бондаренко, В.О.Андрієнко // Приладобудування: стан і перспективи: XIII міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квітня 2014 р: тези доп. – м.Київ, 2014. – С. 83-84.
3. Билоконь С.А. Математическое моделирование процесса деформации измерительной системы атомно-силового микроскопа и расчет допустимых режимов ее работы / С.А.Билоконь, И.А.Рева, М.А.Бондаренко, М.П.Рудь // Методол. аспекты сканирующей зондовой микроскопии: X Междунар. конф., 13-16 ноября 2012 г: тезисы докл. – Минск: Беларуская навука, 2012. – С.297-301.
4. Bondarenko M.A. Research of influence of the state of surface of probes for AFM on exactness and quality of the topograms / M.A.Bondarenko, J.J.Bondarenko, S.A.Shelestovskaya //

Electronics and nanotechnology ELNANO 2011: XXXI Intern. Scien. Conf., April 12-14, 2011: thesis. – Kyiv: NTUU «Kyiv Polytechnic Institute», 2011. – P.60.

5. Бондаренко М.А. Энергетический теплообмен в зоне контакта зонда атомно-силового микроскопа с исследуемой поверхностью / М.А.Бондаренко, Ю.Ю.Бондаренко, С.А.Билоконь, В.А.Андриенко // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: XII Междунар. конф., 18-21 октября 2016 г: тезисы докл. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С.235-241.

УДК 621.382

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ЦЕНТРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО РОБОТА ESSEMTEC PANTERA XV

Ковальов В.С., Купіна О.А.¹, Смолій В.М.²

¹аспірант, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

²д.т.н., професор, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

Метою роботи є дослідження параметрів та налаштувань автоматизованого складального робота Essemtec Pantera XV.

Розвиток сучасної електроніки супроводжується зменшенням розмірів електронних компонентів. З появою компонентів, що мають велике число виводів, стало зрозуміло, що колишні методи розробки і збірки не можуть задовольняти вимогам сьогодення виробництва електроніки. Це призвело до появи планарних компонентів і поверхневого монтажу, що дозволило у високому ступені автоматизувати складальні процеси, досягти високої щільності монтажу, знизити обсяг, вагу і розміри компонентів. Збірку із застосуванням одних планарних компонентів, що встановлюються на друковану плату, називають поверхневим монтажем. Збірка складається з наступних етапів: нанесення паяльної пасти, установка компонентів, розплавлення пасти і контроль. Поверхневий монтаж забезпечує високу надійність продукції.

Автономний складальний автомат Pantera XV компанії Essemtec (Швейцарія), призначений для використання в середньому і багатосерійному виробництві.

Після нанесення паяльної пасти на ДП за допомогою трафаретного принтера, ДП переміщується по конвеєру до автоматизованого складального робота. Де відбувається установка і фіксація ДП яка здійснюється за допомогою напрямних - нерухомого кута і трьох магнітів які переміщуються, що забезпечує надійне кріплення і швидку зміну ДП. Вільний простір навколо ДП зазвичай займають живильники з матричних піддонів і відрізків стрічок.

Цикл роботи цього складального автомата включає в себе наступні операції: вибір з магазину (живильника) компонента конкретного типу і номіналу, переміщення до ДП, установка компонента на ДП з заданою точністю. В автоматах портального типу ці функції виконує «рука робота», що включає в себе одно - або багатошпindelну робочу головку, переміщувану в горизонтальній площині (по осях X і Y). Кожен шпindel робочої головки може здійснювати поступальні (вгору-вниз) і обертальні (навколо вертикальної осі) рухи [1].

Автомат Pantera XV може працювати з живильниками 4 типів: Feeder, Vibratory, Waffle, Tray stacker.

Центрування полягає в вимірі трьох похибок: двох похибок розташування геометричного центру компонента щодо осі наконечника (по осях X і Y) і похибки кута повороту в горизонтальній площині з наступним урахуванням цих похибок за допомогою ПЗ при установці компонента на ДП.

В цьому монтажному автоматі використовуються системи як лазерного, так і оптичного центрування.

В системі лазерного центрування промінь лазерного діода, пройшовши систему лінз, перетворюється в сукупність горизонтальних паралельних променів, що направляються на

захоплений робочою головкою компонент. Тінь компонента проектується на розташовані в лінію ПЗЗ-камери.

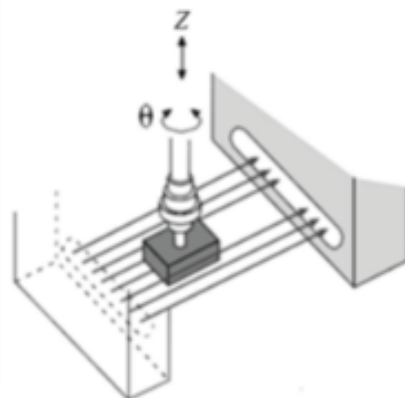


Рисунок 1 – Лазерна система центрування

Лазерні системи мають високу швидкість центрування, але використовуються в основному для роботи з простими корпусами (чіп-компонентами). Для центрування корпусів мікросхем (PLCC, QFP, BGA і ін.) зазвичай застосовують стаціонарні відеокамери (ПЗЗ-камери високої роздільної здатності) [2].

При обертанні компонента проводиться вимірювання розмірів різних ділянок проєкцій компонента, далі розраховується кутова похибка, а також зміщення центру компонента щодо точки захоплення, координати якої відомі СУ.

Робоча головка захоплює компонент і переносить його в поле зору спрямованої вгору відеокамери. Під час нетривалої паузи (протягом якої компонент зазвичай підсвічується знизу і з боків, а також повертається навколо вертикальної осі) відбувається програмне розпізнавання образу і його порівняння з бібліотечним аналогом, вимірюється і аналізується кожен вивід, в результаті чого обчислюються відповідні коригувальні фактори. Далі компонент переноситься до ДП.

ПЗ автомата функціонує під управлінням операційної системи Windows XP і включає в себе ряд взаємопов'язаних програмних модулів, таких як Library, CAD Conversion, BOX, Placer, LCV Vision та ін.

Література:

1. <http://www.essemtec.com/product.aspx/?ArtNr=Pantera+X%2Dplus>;
2. http://www.packtronic.it/documents/placeALL_510.pdf.

УДК 621.315.592

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА НА КАЧЕСТВО КРЕМНИЕВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ

Никонова А.А.¹, Хойна С.И.²

¹к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-5714-7543, Запорожская государственная инженерная академия, nk_alina@ukr.net

² директор ДП «Днепр - полупроводники», г. Херсон

Исследование свойств высоколегированных кремниевых слоев, полученных методом ионной имплантации с последующим термоотжигом, которые зависят от степени восстановления совершенства кристаллической решетки, а также от распределения примесных атомов, оказывает существенное влияние на качество приборов, используемых при изготовлении энергосберегающих систем.

Высоколегированные кремниевых слои, метод ионной имплантации, термоотжиг, кристаллическая решетка, примесные атомы

The study of the properties of highly alloyed silicon layers obtained by the ion implantation method followed by thermal degradation, which depend on the degree of reduction of the perfection of the crystal lattice, as well as on the distribution of impurity atoms, has a significant effect on the quality of the instruments used in the manufacture of energy-saving systems.

Highly alloyed silicon layers, the ion implantation method, thermal degradation, the crystal lattice, impurity atoms

Проблема энергосбережения тесно переплетается с проблемами энергетики, экологии, технического перевооружения и создания новых технологий изготовления приборов и систем. Их важность подтверждается статусом государственной политики и государственными органами высокоразвитых стран (Япония, США, Франция, Германия, Англия и другие).

Актуальным является исследование свойств высоколегированных кремниевых слоев, полученных методом ионной имплантации с последующим термоотжигом, которые зависят от степени восстановления совершенства кристаллической решетки, а также от распределения примесных атомов, что оказывает существенное влияние на качество приборов, используемых при изготовлении энергосберегающих систем.

Известно, что импульсный лазерный отжиг (ЛО) достаточно полно и эффективно минимизирует и дезактивирует радиационные дефекты, обеспечивая тем самым необходимый уровень электрической активности имплантированной примеси. Так, коэффициент использования примеси, т.е. отношение поверхностной концентрации примеси к дозе, после ЛО выше, чем после термического отжига (ТО). Причем, во втором случае температура кристалла не превышает 8000С. Однако при малых дозах коэффициент использования в обоих случаях, ЛО и ТО, близок к единице, и только при больших дозах ионов фосфора (P) ТО не обеспечивает его высокого значения.

Эксперимент проводился при повышенной мощности лазерного воздействия, которое составляло около 50мВт, т. к. при мощности около 20мВт выявленные поверхностные изменения незначительны. Температура отжига 500-700°C, мощность лазера ЛГН-215 изменялась и контролировалась измерителем ИМО-2. Образцы исследовались методом электронографии на электронном микроскопе JEM-120. Особенности влияния импульсной термообработки на концентрацию, электрическую активность и распределение имплантированной примеси и определялись по примесным профилям, полученных авторами в результате ЛО на рубине.

Авторами отмечается общая закономерность – расширение легированной области в результате ЛО. Помимо этого, исследуемые образцы имели участок с примерно постоянной концентрацией примеси до глубины 200 нм для бора (B) и P, и 120 нм – для мышьяка (As). Перераспределение примеси сопровождалось устранением и переносом имплантированных атомов в подложке замещения. Потеря атомов примесей в результате ЛО не обнаружено, их интегральное количество до и после ЛО совпадают с точностью до 6%. При импульсном ЛО совершенство образующейся структуры определяется глубиной проплавления относительно первоначального нарушения слоя.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что выбор режима ЛО должен производиться с учетом, по крайней мере, прогнозируемой структуры слоя, подвергнутого ионной имплантации. Это позволит подобрать режимы изготовления новых приборов и устройств с минимальным энергопотреблением как в активном режиме, так и в режиме стэнд-бай; правильно рассчитать их мощность для достижения максимальной эффективности работы; создавать автоматические и интеллектуальные распределительные системы управления энергетическими ресурсами.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПАЯЛЬНОЇ ПАСТИ У ЛІНІЇ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ

Верещака М.С., Купіна О.А.¹, Смолій В.М.²

¹ас., ²д.т.н., проф. СНУ ім. В. Даля

Метою роботи є дослідження параметрів та налаштувань автоматизованих трафаретних принтерів для нанесення паяльної пасти.

При складанні ДП по SMT-технології в основному виконуються такі операції: нанесення паяльної пасти на контактні площадки ДП, установка SMD-компонентів на плату, пайка їх виводів і візуальний контроль паяних з'єднань. Найбільш поширеним методом нанесення паяльної пасти на ДП є метод трафаретного друку. Паста наноситься на контактні площадки у відповідності з топологією ДП через апертури трафарету.

Устаткування призначене для нанесення паяльної пасти через отвори в металевому трафареті які називаються апертурами на контактні площадки ДП. Воно може застосовуватися як автоматичне для роботи в лінії та і напівавтоматичне як окреме обладнання. Принтер – це автомат який контролює всі технологічні параметри нанесення паяльної пасти на ДП. Поєднання трафарету і ДП в автоматичному режимі підвищує продуктивність і якість технологічних процесів нанесення матеріалів на ДП для технології поверхневого монтажу SMT. Напівавтоматичні принтери для нанесення паяльної пасти застосовуються в дрібносерійному виробництві, як окреме обладнання.

Технологія нанесення паяльної пасти. Спочатку виготовляють трафарет (сітчастий або металевий) згідно з топологією ДП. Потім плата за допомогою конвеєрної системи подається в принтер де здійснюється її механічне фіксування. Далі відбувається суміщення ДП і трафарету. І тільки тоді відбувається нанесення паяльної пасти через апертури. Після проведення всіх цих операцій відбувається контроль якості нанесення паяльної пасти та очистка трафарету.

Основні технологічні вузли цих трафаретних принтерів:

Система затиску ДП, програмована друкована голова, система візуального позиціонування, автоматична 2D інспекція нанесення паяльної пасти, незалежна система очистки трафарету.

Виконано порівняльний аналіз наступних моделей трафаретних принтерів для нанесення паяльної пасти: SJ Inno tech HP-520S, PIX NS-H450, ITW EAE MPM Edison, MPM AccuFlex, DEK Horizon 03I. Досліджувались наступні характеристики: точність суміщення, повторюваність друку, час циклу, діапазон швидкості переміщення ракеля та діапазон тиску ракеля.

Для вибору оптимального обладнання були задіяні два методи.

Перший метод полягає у визначенні оптимальної моделі принтера за шістьма критеріями. Такими як: середній вигрощ, Лаплас, Вальд, максимум, Гурвіц та Севідж [1]. Вибірка проводиться по всіх п'яти характеристиках але найбільше акцентування було зроблено на дві основні характеристики: точність суміщення і повторюваність друку та були задіяні усі п'ять принтерів.

Другий метод полягає у визначенні оптимальної моделі принтера за допомогою метода аналізу ієрархії [2]. В цьому методі вибірка проводиться лише по трьом характеристикам: точність суміщення, повторюваність друку і час циклу та задіяно лише три принтера.

Перший метод показав що найбільш ефективним устаткуванням є ITW EAE MPM Edison, а другий метод показав що це DEK Horizon 03I.

Перший принтер призначена для дрібносерійного виробництва, другий – для дрібносерійного, третій – багатосерійного, четвертий – багатосерійного та п'ятий – багатосерійного. В залежності від потужностей виробництва обирається певна модель з врахування проведених досліджень.

Література:

1. Сорока К.О. Основи теорії систем і системного аналізу.: 2004. – 114 с.
2. Волкова В.Н., Козлова В.Н. Моделювання систем і процесів.: 2014. – 500 с.

УДК 004.056.2

ДОСЛІДЖЕННЯ КОДЕРІВ ЦИФРОВИХ ДАНИХ НА ОСНОВІ СКРЕМБЛЕРІВ

Кісельов Є.М.¹, Нагаєць О.І.²,

Запорізька державна інженерна академія,

¹ORCID: 0000-0001-5844-7268, доцент, кафедра мікроелектронних інформаційних систем, Запорізька державна інженерна академія, e-mail: egor@zgia.zp.ua.

²магістрант, кафедра електронних інформаційних систем, Запорізька державна інженерна академія

Анотація: Проведено дослідження скремблерів на основі схеми технічного моделювання. Показано, що найбільш ефективним є варіант з 7 регістрами, 3 з яких створюють зворотний зв'язок за схемами 1000011; 1001001; 1100001.

Ключові слова: моделювання, зациклення, ключ, регістр

Annotation: The scrambler research was conducted on the basis of the electric schemes modeling scheme. It is shown that the most effective is the variant with 7 registers, 3 of which create feedback under schemes 1000011; 1001001; 1100001.

Key words: simulation, loop, key, register

Використання в техніці зв'язку складних сигналів забезпечує високу вірогідність передачі інформації, завадостійкість до навмисних перешкод, ефективне використання діапазону частот і зменшення впливу структури початкового цифрового сигналу на спектр сигналу у лінії зв'язку, що спрощує декодеру виділення несучої частоти і декодування [1].

Поставлена задача може бути вирішена на основі скремблювання, коли сигналу надаються характеристики псевдовипадкового з рівномірним спектром. Розробка таких кодерів потребує визначення структури пристрою, що забезпечує найбільший період зациклення.

Для реалізації поставленої задачі було проведено дослідження цифрових скремблерів на основі схемотехнічного моделювання. Завдання і результати дослідження п'ятирозрядного кодеру наведено на рис. 1. Крім того, проведено дослідження адитивних шести – і сьомі – розрядних кодерів з початковою установкою стану регістрів ключа.

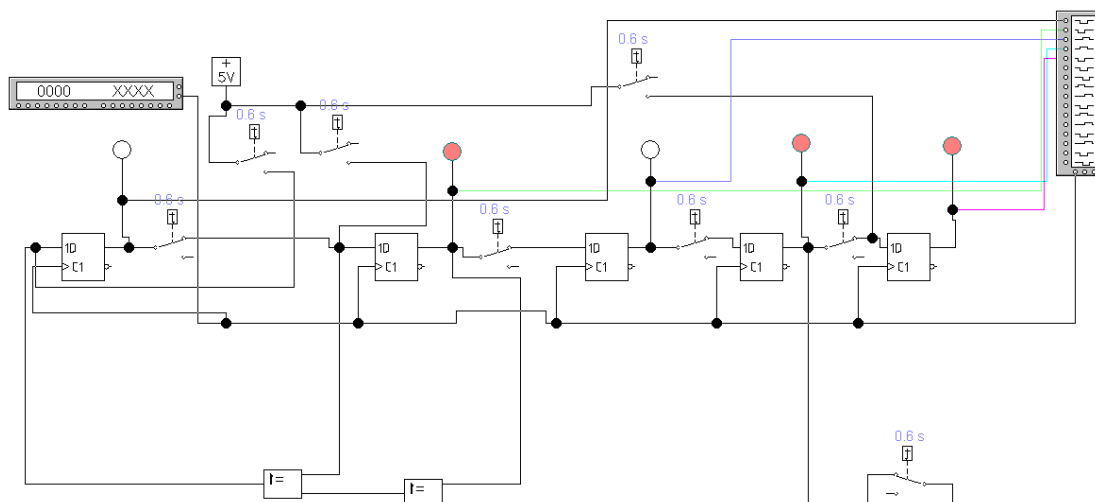


Рисунок 1 – Завдання для моделювання кодеру

Результати моделювання кодеру показали, що період зациклення скремблеру не залежить від початкового стану ключа (окрім забороненого стану – 000...0), а визначається розрядністю і структурою системи зворотного зв'язку регістрів. Т.ч., на наступному етапі досліджень потребує вирішення проблема оптимального синтезу зворотного зв'язку у кодері.

Зміна кількості регістрів ключа, що беруть участь у формуванні стану старшого розряду, еквівалента двійковому числу відповідної розрядності. Тому залежність кількості тактів зациклення кодеру від структури системи зворотних зв'язків для зручності наведено на рис. 2 за допомогою десяткових еквівалентів двійкового коду структури.

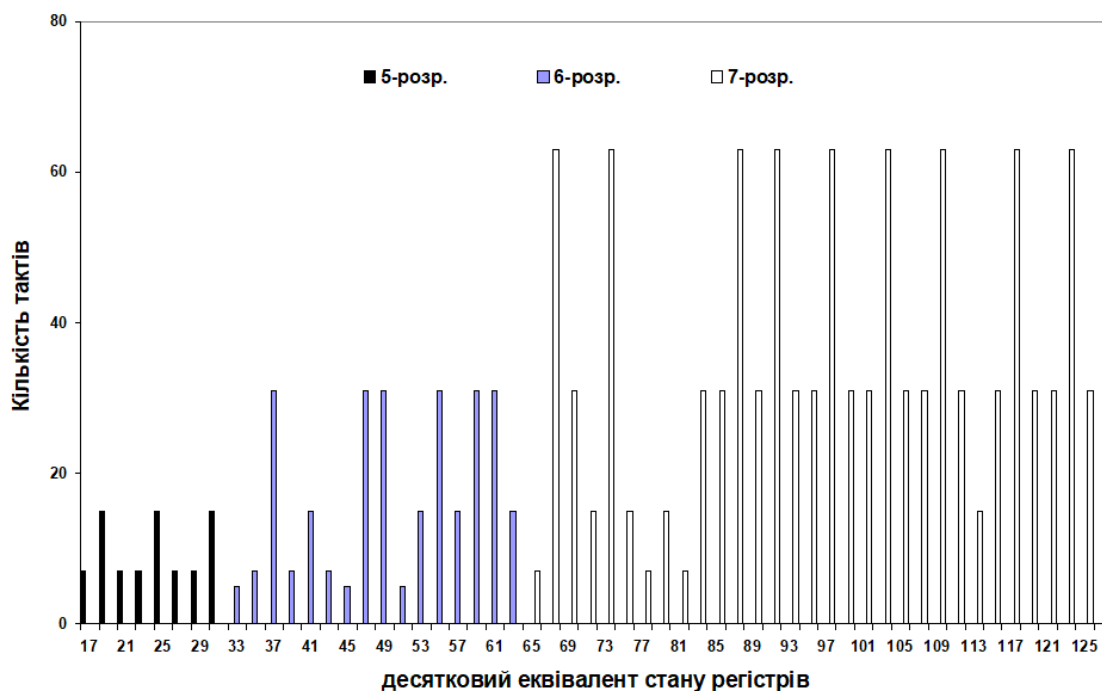


Рисунок 2 – Залежність кількості тактів зациклення кодеру від структури системи зворотних зв'язків

Як слід з рис. 2 найбільш кількість тактів зациклення притаманна: для п'ятирозрядного кодеру – 15; шестирозрядного кодеру – 31; сьомірозрядного кодеру – 63, що вдвічі менш ніж у відповідних ідеальних варіантах [2]. За допомогою отриманих даних можливо обрати оптимальну структуру кодеру, що зважаючи на розрядність сучасних процесорів, повинен бути сьомірозрядним з системою зворотних зв'язків, формуємих мінімальною кількістю регістрів ключа. Для запропонованого варіанту кодеру така структура може бути задана двійковими еквівалентами 1000011; 1001001; 1100001, що призводить до 63 тактів роботи з унікальними значеннями послідовності, що змінює вхідні дані.

Література:

1. Гундарь, К.Ю. Защита информации в компьютерных системах // К.Ю. Гундарь, А.Ю. Гундарь, Д.А. Янишевский / К.: «Корнейчук», 2002. – с. 99 – 101.
2. Засоби захисту інформації у мережах ЕОМ: методичні вказівки до лабораторних робіт // Є. М. Кісельов / Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2007. – с. 87 – 92.

ДИСТАНЦІЙНИЙ МАНІПУЛЯТОР ІЗ РОЗПІЗНАВАННЯМ РУХІВ ОПЕРАТОРА

Стрюков В.О.¹, Строїтелева Н.І.²,

¹vladimir.alexeevich.morrowind@gmail.com,

²канд. фіз.-мат.наук, доц. кафедри МЕІС ЗДІА, nina.str.nina@gmail.com

Кількість типів комп'ютерної периферії постійно збільшується. Існує величезна різноманітність пристроїв введення та виведення інформації. При цьому обсяг їх виконуваних завдань настільки багатий та різноманітний, що виникає можливість застосування деякої комп'ютерної периферії не лише за їх традиційним призначенням. Одним із найбільш легкодоступних за своїми ціновими характеристиками пристроїв введення інформації в комп'ютер є комп'ютерна миша – маніпулятор, який завдяки своїй зручності та функціональності завоювала користувацьку прихильність та повсякчас розширює свої можливості.

Розроблений пристрій слугує бездротовим маніпулятором, який не потребує поверхні для здійснення керування. Пристрій зовні являє собою рукавицю, із вбудованим сенсорним чіпом, який реєструє рухи руки оператора у просторі. Отримана інформація передається по бездротовому каналу зв'язку до приймача. Приймач слугує проміжковою ланкою між маніпулятором та будь-якою платформою, якою необхідно керувати.

Маніпулятор являє собою комбіновану систему, яка складається із двох окремих приладів: передавача та приймача (рис.1). Живлення передавача відбувається з допомогою батарейки, або від будь-якого джерела живлення із відповідними параметрами. Головний елемент передавача - мікроконтролер (МК) на базі ядра Cortex M3 [1]. Задачі МК: опитування кнопок вводу, опитування модуля GY-521, обробка отриманих даних, та передача даних до RF-трансівера (у випадку дозволу передачі, тобто у випадку натискання відповідної кнопки) [2]. RF-трансівер (NRF24L01) забезпечує обмін даними між передавачем та приймачем, використовуючи заданий радіоканал. За логіку роботи приймача відповідатиме ідентичний до ядра передавача МК. Ядро передавача забезпечить обробку отриманих даних передачі їх до USB перетворювача, а той, в свою чергу, до комп'ютера.

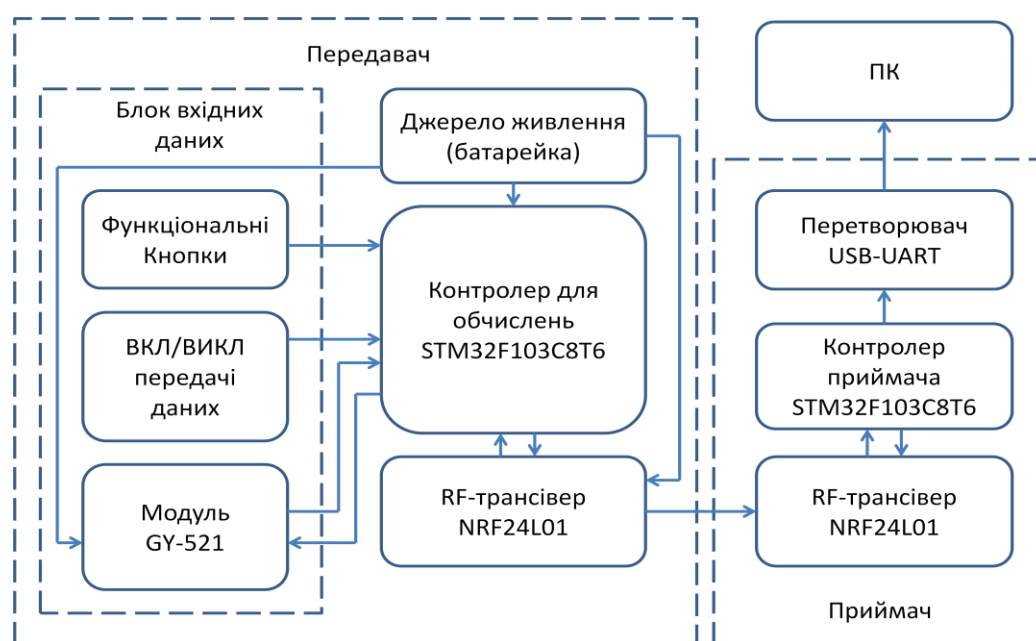


Рисунок 1 – Блок-схема маніпулятора

Основний елемент передавача – мікроконтролер сімейства STM32, а саме STM32F103C8T6. Даний тип мікроконтролерів використовує ядро Cortex-M3, із

максимальною тактовою частотою в 72МГц. STM32f103c8t6 має внутрішню флеш пам'ять розміром 64 кБ на програмний код та 20 кБ SRAM . SRAM пам'ять в МК виступає в якості кешу, тобто в якості буферу для оброблюваних даних. Cortex-M3 – 32 -бітний контролер із низьким енергоспоживанням для вбудованих систем. У порівнянні із більш простими 8-бітними контролерами, він має багато переваг, одна із найважливіших для використання у даному проекті – більша тактова частота і, як наслідок, швидше виконання математичних операцій. Логічне ядро розроблюваного приладу повинне виконувати наступні задачі: обробка сигналу підключення із модулем приймача після запуску, обробка heart-beat сигналів від приймача, збір інформації із пристроїв вводу, обробка даних, згідно математичної моделі, відправка оброблених даних до модулю RF-трансівера.

Модуль приймача являтиме собою RF-трансівер та контролер для обробки даних (в залежності від отриманих даних необхідно буде видавати відповідні сигнали по обраному провідному інтерфейсу). Модуль матиме опціональну можливість підключення до комп'ютера, для демонстрації спроможностей пристрою, в подальшому, приймач являтиме собою невелику плату із контактами, яку можна буде прилаштувати до будь-яких пристроїв, та спілкуватися із платою приймача з допомогою UART та API.

Великою перевагою обраної апаратної платформи є власна середа розробки. Arduino IDE [3] – зручна інтегрована середа розробки, яка підтримує C-подібну мову програмування, має вбудований компілятор (позбавляє необхідності встановлювати компілятор окремо) та дуже лояльна до недосвідчених користувачів (про це свідчить наявність великої кількості прикладів із кодом, готовим до виконання). У випадку реалізації прототипу даного приладу Arduino IDE значно скорочує час на розробку програмного забезпечення, адже позбавить необхідності поглиблюватись в особливості реалізації драйверів контролера.

Розроблений пристрій здатний реєструвати переміщення рук оператора у просторі. Ця технологія дозволяє замінити неінтуїтивні методи керування, які базуються на виключно на натисканні кнопок, або здійснюються з допомогою джойстика. Пристрій передбачено використовувати для керування платформами на відстані, що дозволяє виконувати маніпуляції, над об'єктами, які знаходяться в місцях, недоступних для перебування людини.

Література:

1. Datasheet STM32f103x8 STM32f103xB [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00161566.pdf>. - Дата доступу жовт. 2018. - Назва з екрану.
2. Коноплев Б.Г. Компоненты микросистемной техники: учебное пособие [Текст] / Б.Г. Коноплев, И.Е. Лысенко — Таганрог: Издательство ТТИ ЮФУ, 2009.— 117 с.
3. Arduino Russian [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://arduino.ru/>. – Дата доступу жовт. 2018. – Назва з екрану.

УДК 621.381

СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Ніконова А.О.* , Лисенко А.В.,

* доц., к.т.н., ORCID ID 0000-0002-5714-7543, nk_alina@ukr.net, Запорізька державна інженерна академія

Підсилювачі біопотенціалів повинні забезпечити без істотних спотворень підсилення сигналу, що знімається за допомогою електродів для їх подальшої реєстрації.

Підсилювачі біопотенціалів, сигнал, реєстрація, спотворення

Amplifiers of biopotentials should ensure, without significant distortion, amplification of a signal that is removed by means of electrodes for their subsequent registration.

Amplifiers of biopotentials, signal, registration, distortion

Неможливо назвати хоча б одну галузь експериментальної, лікувальної або профілактичної медицини, яка могла б розраховувати навіть на малий успіх без застосування електронної техніки. Інструментальні методи знайшли широке застосування в клінічних і амбулаторних умовах, в курортно-санаторній практиці та центрах реабілітації, в оздоровчо-відновних та спортивних центрах. Без спеціального методичного та технічного забезпечення неможливі космічні та підводні дослідження, ергономічна та інженерно-психологічна експертиза автоматизованих комплексів «людина-техніка» [1].

Поява нових технологій виробництва електронної техніки та нової елементної бази, більш досконаліх методів діагностики, у тому числі і удосконалення, добре відомих та зарекомендованих у практиці, сприяє збереженню інтересу до проблеми розробки нових медичних діагностичних приладів та систем з енергозберігаючою системою живлення. Особливо важливо це стає у зв'язку з припливом в цю область величезної кількості спеціалістів з інших областей електроніки, які добре володіють методами проектування електронних пристроїв, а також відчувають специфічні особливості розробки такого обладнання для медичних застосувань.

Прилад для реєстрації біопотенціалів включає в себе наступні основні вузли: електроди, з'єднувальні дроти, вхідний пристрій, підсилювачі, реєстратори, блок живлення.

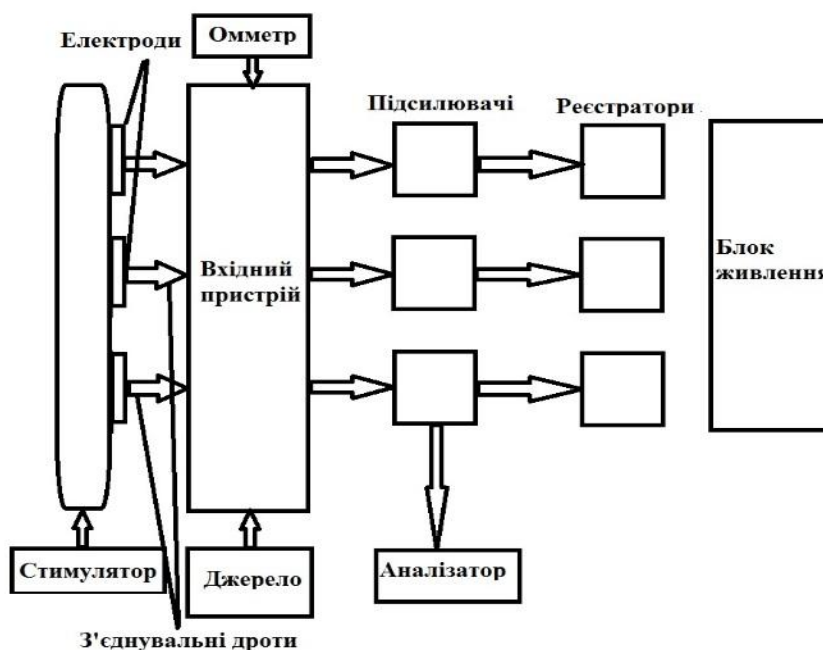


Рисунок 1 – Прилад для реєстрації біопотенціалів

Електроди для зняття біопотенціалів з поверхні тіла є струмопровідними пластинами невеликої площі. Електроди закріплюються на тілі за допомогою гумових бинтів, гумовими присосками, спеціальним головним шоломом. Застосовуються і порожнинні електроди, а також голчасті, що вводяться в досліджувану тканину.

Вхідний пристрій забезпечує створення певної системи відведень, яка підключається до входу підсилювача [2]. Ця система може включати в себе з'єднані з електродами резистори для отримання штучної точки порівняння, по відношенню до якої вимірюються біопотенціали. Кількість електродів, одночасно накладаються на пацієнта, зазвичай перевищує число каналів приладу, тому у вхідному пристрої є перемикачі, що дозволяють за вибором підключати до будь-якого каналу будь-яку пару електродів.

У вхідний пристрій від добре стабілізованого джерела подається калібрувальний сигнал, що дозволяє оцінювати величину вимірюваних біопотенціалів. Калібрувальний сигнал має одне або кілька заздалегідь встановлених значень і включається оператором на короткий час натисканням кнопки.

У ряді випадків важливо знати міжелектродний опір. Для цього в приладі встановлюється омметр, до якого окремим перемикачем у вхідному пристрої може бути підключена будь-яка пара з накладених електродів.

Підсилувачі біопотенціалів повинні забезпечити без істотних спотворень підсилення сигналу, що знімається за допомогою електродів біопотенціалів для їх подальшої реєстрації. Залежно від призначення приладу застосовується один або кілька каналів посилення, що представляють собою, як правило, ідентичні підсилувачі.

З виходу підсилувача посилені біопотенціали надходять на реєстратор. За допомогою реєстратора біопотенціали представляються у вигляді записаної тим чи іншим способом кривої, яка може бути піддана подальшому аналізу.

Для полегшення аналізу зареєстрованої кривої біопотенціалів застосовуються різного роду аналізатори, які можуть бути вбудовані в прилад. Найчастіше застосовуються інтегратори та пристрої для частотного аналізу. За допомогою інтегратора оцінюється площа, що лежить між досліджуваною кривою і нульовою лінією, тобто сумарна біоелектрична активність за певний проміжок часу.

Складовою частиною приладу для реєстрації біоелектричної активності може бути стимулятор для впливу на тканину або орган і виявлення їх реакції у відповідь.

Література:

1. Корневский Н. А., Попечителей Е. П., Филист С. А. Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий [Текст] / Н. А. Корневский, Е. П. Попечителей, С. А. Филист. – Монография/ Курская городская типография. Курск, 1999. – 573с.

2. Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура [Текст] / А. Р. Ливенсон. – М: Медицина, 1981. – 344с.

УДК 621.3

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ НА ПЛАТФОРМІ АРДУІНО

Ференчук І.В.¹, Строїтелева Н.І.²

¹ferenchuk.ivan69@gmail.com,

²доцент кафедри МЕІС ЗДІА, nina.str.nina@gmail.com

Передові технології змінюють оточуючий світ дуже швидко і відіграють велику роль в організації навчання з використанням новітніх приладів та сервісів. Особлива увага приділяється підвищенню рівня викладацької майстерності з використанням передових освітніх методик і засобів.

Лабораторний стенд на платформі Ардуіно розроблений для проведення лабораторних занять по курсу «Основи інформаційних систем» для студентів спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка», що навчаються на 2 курсі. Він забезпечує реалізацію інтенсивних форм і методів навчання, організацію самостійної навчальної діяльності та сприяє підвищенню мотивації до процесу навчання. Актуальність розробки лабораторного стенду зумовлена підвищенням інтересом у сучасних умовах до використанні нових інформаційних технологій, удосконалення форм і методів організації навчального процесу та забезпечення самоосвіти і саморозвитку всіх учасників навчального процесу [1].

Метою створення лабораторного стенду є розширення можливостей навчального процесу, які забезпечують занурення студента у пізнавальний процес. Стенд представляє собою прилад, в основі якого знаходиться платформа Arduino Mega 2560 з мікроконтролером ATmega 2560 (рис. 1). Arduino – платформа з відкритим вихідним кодом, створена для швидкої і легкої розробки різноманітних електронних пристроїв, зокрема для налагодження алгоритмів систем контролю і автоматизації [2].

Програмна частина платформи представляє собою безкоштовну програмну оболонку, що включає в себе текстовий редактор, адаптований для написання програмного коду на мові Сі, компілятор і набір засобів для програмування апаратури. Апаратна частина платформи – це друкована плата на основі мікроконтролера, що містить в собі програматор, стабілізатор напруги, світлодіоди, що сигналізують, і USB / mini USB-роз'єм для підключення до ПК. Для програмування плати не потрібен окремий програматор. Завантаження відбувається за допомогою кабелю з USB-інтерфейсом.

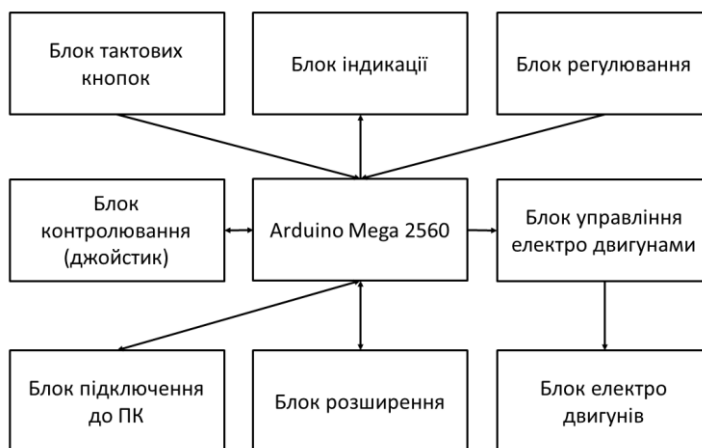


Рисунок 1 – Блок-схема лабораторного стенду

Таблиця 1 – Основні параметри платформи Arduino Mega 2560 [1]

Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (максимальна)	6-20В
Цифрові входи/виходи	54
Аналогові входи	16
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Максимальний вихідний струм вивода 3.3V	50 мА
Flash-пам'ять	256 КБ
SRAM	8 КБ
EEPROM	4 КБ
Тактова частота	16 МГц

Завдяки великій кількості виводів платформи (54 штуки) до стенду можна підключати безліч приладів, наприклад: світлодіоди, джойстики, перемикачі, двигуни, екран. Завдяки такому стенду без зусиль можна створити, наприклад, просту систему реагування на рух, при чому декількома способами. Конструкція стенду проста у встановленні, її легко оновити, модифікувати, адмініструвати кількома користувачами; вона має зручний і простий в управлінні інтерфейс.

Arduino – цифровий пристрій, який використовує стандарт 0В – 5В. З цим пов'язано і значення напруги його живлення. Цифровий стандарт забезпечує як виконання розрахунків всередині контролера, так і зв'язок Arduino з іншими цифровими пристроями. Зв'язок із зовнішніми пристроями контролер здійснює за допомогою пінів (виводів), або ніжок. Якщо пін працює як цифровий вхід, подача на нього сигналу напругою в 5 В буде розпізнаватися контролером, і, як наслідок, програмою, як логічна одиниця, а подача 0 В, тобто напруги, відповідного «мінуса» схеми – логічним нулем. Оскільки сигнали передаються по проводах, а низька напруга зазнає значних втрат при передачі на відстань, більшу ніж на 3м, Ардуіно сприймає сигнал від 3 В до 5 В як логічну одиницю, а меншу напругу – як логічний нуль.

Отже завдяки повнофункціональній платформі Arduino стає можливим просте та ефективно моделювання приладів контролю та управління. Проста мова програмування та зрозумілі функції виводів платформи роблять Arduino найбільш зручним інструментом для початківців та професіоналів. На базі платформи можна побудувати велику кількість корисних приладів.

Діючий макет розробленого стенду дає можливість адаптації змісту навчального матеріалу до індивідуальних особливостей студентів. Використання лабораторного стенду на платформі Ардуіно відкриває нові шляхи організації навчального процесу, активізації навчання, розвитку навичок самостійної роботи, творчих здібностей студентів.

Література

1. Строїтелева Н.І. Розробка електронних пристроїв на платформі Ардуіно / Актуальні проблеми промислової електроніки: монографія / Критська Т.В., Оселечник Ю.С., Алексієвський Д.Г. та інш.; ЗДІА. – Запоріжжя, 2018. – С.117 - 132.

2. Getting Started with Arduino and Genuino products [Електронний ресурс] – 2016 – Режим доступу: [Електронний ресурс] – статті – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage> - Дата доступу: жовтень 2018. – Назва з екрана

УДК 621.396

МІКРОЕЛЕКТРОННА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЧНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Архіпов В. О.

Запорізька державна інженерна академія

Анотація: Вживання багатоканальних інтегральних сигма-дельта АЦП дозволяє будувати принципово нову схемотехніку цифрових електрокардіографів, що володіють цілим рядом споживчих і технічних переваг перед звичайними апаратами. Сигма-дельта АЦП є досить корисною альтернативою традиційних АЦП.

Ключові слова: АЦП, ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФ, МУЛЬТИПЛЕКСОР, ФІЛЬТРАЦІЯ, СИГНАЛ

Annotation: Application multichannel integral the sigma-meson-delta of ATSP allows to build on principle new схемотехнику of digital електрокардіографов which own a number of consumer and technical advantages before ordinary vehicles. A sigma-meson-delta of ATSP is the useful enough alternative of traditional ATSP.

Key words: ADC, ELEKTROKARDIOGRAF, MULTIPLEXER, FILTRATION, SIGNAL

Основою всіх цифрових електрокардіографів є аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Одним з передових методів багаторозрядного аналого-цифрового перетворення є вживання так званого сигма-дельта перетворення [1]. Тому актуальним представляється використання в сучасному комп'ютерному електрокардіографі інтегрального АЦП на основі технології сигма-дельта.

Основними обмеженнями і недоліками, властивими класичному підходу при розробці апаратури цифрових ЕКГ систем є: прецизійні резистори у вхідному каскаді схеми формування відведень; відносно складні інструментальні вхідні підсилювачі для подавлення синфазної перешкоди; великогабаритні конденсатори з малими струмами витoku у ФВЧ; ФНЧ високого порядку для обмеження спектру аналогового сигналу при досить низькій частоті оцифрування; схеми вибірки-зберігання і мультиплексор перед входом 12-ти розрядного АЦП, що вносять додаткові нелінійні спотворення, а також фазове міжканальне зрушення.

З розвитком технології виробництва надвеликих інтегральних схем з'явилася комерційно доступна елементна база, що реалізує принцип сигма-дельта ($\Sigma-\Delta$) аналого-

цифрового перетворення в одній мікросхемі [2]. Сигма-дельта АЦП володіють високим дозволом (більше 14 розрядів), значною мірою базуються на принципах цифрової фільтрації сигналів, що дозволяє понизити вимоги до аналогової фільтрації сигналів і замість інструментальних підсилювачів використовувати підсилювачі постійного струму.

У сигма-дельта АЦП аналоговий сигнал квантується з дуже низьким дозволом (як правило, 1 біт) на частоті, що у багато разів перевищує максимальну частоту спектру сигналу. Використовуючи таку методику передискретизації у поєднанні з цифровою фільтрацією, можна значно підвищити розрядність. Для зниження ефективної швидкості появи відліків на виході АЦП застосовується децимація.

Блок-схема цифрової безпроводної мікроелектронної електрокардіографічної системи дистанційного моніторингу представлена на рисунку 2.1.

При переході від аналогової схемотехніки електрокардіографів на повністю цифрову обробку електрокардіограми з'являється потреба в цифрових фільтрах ЕКГ сигналу. І якщо реалізації цифрових ФНЧ порівняно прості, то високоякісний цифровий ФВЧ будується за нерекурсивною схемою з великою кількістю коефіцієнтів або за рекурсивною схемою, але з жорсткими вимогами до помилок округлення при обчисленнях з плаваючою комою.



Рис. 1 - Блок-схема цифрової безпроводної системи моніторингу

Підсилювач побудовано на базі операційного підсилювача в неінвертуючому включенні. При відключенні від вимірюваної схеми на вхід операційного підсилювача подається потенціал, достатній для вироблення АЦП сигналу про перевищення вхідного динамічного діапазону. Таким чином реалізований контроль за підключенням електродів.

Аналого-цифрове перетворення виконується чотирьохканальним паралельним 22-х розрядним Σ - Δ АЦП з вбудованим цифровим ФНЧ.

Логіка управління системою моніторингу на базі сигма-дельта АЦП полягає у прочитуванні відліків, що отримуються від електрокардіографа, що виробляється з буфера FIFO адаптера побайтно через порт даних. Кардіограф передає на адаптер 12 каналів (0-11). Цифрові відліки передаються послідовно, молодшими байтами вперед. Один відлік має розмір 4 байти.

Для реалізації радіоканалу передачі даних використовується мікроконтролер rPIC12F675, що має вбудований радіопередавач.

Одними з найбільш поширених і доступних сучасних методів неінвазивної електрокардіографії є аналіз варіабельності серцевого ритму і ЕКГ високого дозволу[3]. Їх реалізація в програмному забезпеченні для комп'ютерного електрокардіографа дозволяє значно підвищити якість ЕКГ діагностики, зокрема оцінювати ризик раптової смерті, діагностувати діабетичну полінейропатію, прогнозувати можливість різних порушенні ритму серця і т. д.

Література

1. Medical electrical equipment, Part 3, Particular requirement for the essential performance of recording and analysing electrocardiographs [Текст] / IEC: Geneva, 1996. – 75 p.
2. Design-In Reference Manual [Текст] / Norwood, USA: Data Convertes. - Analog Devices, Inc., 1996. – 168 p.
3. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: справочник [Текст] / [Под ред. Т.С. Виноградовой]. - М: Медицина, 1986. – 416 с.

УДК 621.382.049.77

МІКРОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ЗАХИСТУ БУДИНКУ

Гудемчук Є.В., Левінзон Д.І.*

* проф., д. т. н., Запорізька державна інженерна академія

Система захисту - це електронний пристрій, який дозволяє завжди бути впевненим у безпеці будинку, офісу, квартири, складу, виробничого приміщення. Охоронна система розрахована на попередження несанкціонованого доступу в приміщення.

Вона складається з охоронної панелі (централі) - прилад, який збирає і аналізує інформацію, що надійшла від охоронних датчиків. Ця ж централь виконує заздалегідь запрограмовані в ній функції, виконувани при спрацювання датчиків.

Системи охоронної сигналізації можна умовно розділити на два типи, взявши за основу такий критерій, як спосіб оповіщення про тривогу:

Перший тип - автономна система охоронної сигналізації. У такій системі передбачений потужний сигнал тривоги - сирена або ревун, що реагують гранично гучним звуковим сигналом при вторгненні на територію приміщення. При цьому сигнал тривоги не передається ні на пост охорони, ні повідомляється власникові. Такі охоронні системи є пасивними і діють на злочинця психологічно. Хоча цього в більшості випадків буває достатньо.

Другий тип системи охорони - активний. Сигнал про проникнення на територію, що охороняється надходить або на стаціонарний пост охорони, або спеціалізовану охоронну структуру, обладнану пультом [1].

В інтерв'ю УНІАН заявив глава Національної поліції України Сергій Князев заявив що основний сегмент злочинності (52%) у 2017 році за 11 місяців становлять крадіжки. [2].

Ця статистика говорить про те що наявні системи безпеки не є ефективними, вони не здатні вберегти майно і життя людини.

В результаті дослідження було: розроблено систему захисту на мікроконтроллері; проведено моделювання системи. З'ясовано, що система в режисі спостереження може працювати довгий час.

Література:

1. Охранная сигнализация [Електронний ресурс] // Аларм Телеком. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://alarmtelecom.net/safe.htm>.

2. 52% преступлений в 2017 году [Електронний ресурс] // Censor. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://censor.net.ua/news/3042184/52_prestupleniyi_v_2017_god_u_eto_kr_aji_knyazev.

УДК 621.396

МІКРОЕЛЕКТРОННА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА АУСКУЛЬТАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Назаренко В.В., Хрипко С.Л.*

* ORCID: 0000-0002-0647-9935, Запорізька державна інженерна академія, кафедра МЕІС, професор, e-mail: ur9qq@ukr.net

Одним з перших і основних, на сьогоднішній день методів дослідження внутрішніх органів є аускультация. Цей діагностичний метод полягає у вислухованні звукових явищ, що виникають у внутрішніх органах людини.

Однак навіть тонкий слух лікаря не завжди може дати досить повне уявлення про звукові явища в серці, так як на їх характеристику може впливати багато факторів: товщина жирового шару грудної клітини, спектральний склад звуків серця, часова характеристика «розташування» шумів в серцевому циклі і, нарешті, суб'єктивна оцінка звукових

характеристик серця, що нерідко викликає розбіжності і суперечки навіть серед досвідчених фахівців. Все це знижує цінність аускультативного методу дослідження серця. Автоматизація процесу аускультативної діагностики дає можливість обробки зареєстрованого сигналу.

Блок-схема приладу для аускультативної діагностики складається з п'яти основних блоків які знаходяться в корпусі приладу і двох пристроїв, що додатково підключаються: мікрофон і звуковідтворюючий пристрій (рис. 1).

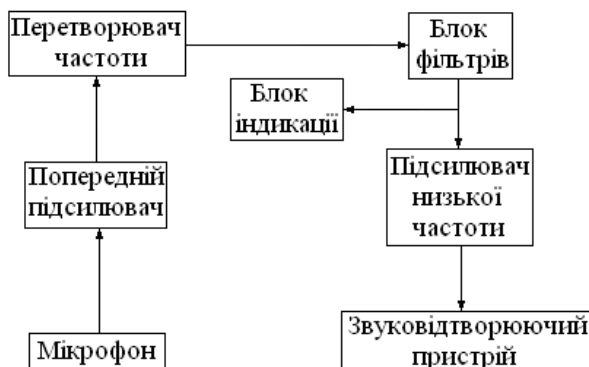


Рисунок 1 - Блок – схема приладу для аускультативної діагностики

Розроблена і промодельована електрична схема приладу для аускультативної діагностики з розширеним частотним діапазоном.

Вживання методу перетворення частоти дозволило розширити робочий частотний діапазон приладу і уникнути дії на користувача небезпечних, резонансних частот.

З використанням частотних фільтрів, з'явилася можливість прослуховувати окремі ділянки сигналу, для точнішого аналізу:

- модель володіє ширшим спектром робочої частоти (20-10000Гц);
- є можливість прослуховування окремих частотних інтервалів;
- пристрій доповнений світловим індикатором, здатним фіксувати навіть найслабкіші сигнали.

Література

1. Минкин Р.Б. Электрокардиография и фонокардиография [Изд. 2-е, перераб. и дополн.] / Р.Б. Минкин, Ю.Д. Павлов. – Л.: Медицина, 1988. – 256 с.
2. Ненашев А.П. Основы конструирования микроэлектронной аппаратуры / А.П. Ненашев, Л.А. Коледов. – М.: Радио и связь, 1981.- 315 с.

УДК 621.382

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ В ЕНЕРОЗБЕРІГАЮЧИХ СИСТЕМАХ

Ніконова А.О. *, Лисенко А.В.

* доц., к.т.н., ORCID ID 0000-0002-5714-7543, nk_alina@ukr.net, Запорізька державна інженерна академія

Анотація: Розробка приладу для реєстрації забруднень на напівпровідникових оптоструктурах, для використання в системах пожежної безпеки на виробництві та в побуті

Ключові слова: Модель, напівпровідникові оптоструктури, схема, пожежна безпека, система

Annotation: Development of a device for registering pollution on semiconductor optostructures for use in fire safety systems in enterprises and in every day

Key words: Model, semiconductor optostructures, scheme, fire safety, system

Відомо, що перед розробкою моделі приладу заздалегідь визначаються завдання, які будуть поставлені перед енергозберігаючою системою. Для цього проводиться аналіз параметрів та характеристик, що характеризують об'єкт, визначається його структура, які будуть відповідати всім вимогам. На сьогодні актуальним є питання розробки приладів для реєстрації забруднень на напівпровідникових оптоструктурах, які мають неабияке значення і при використанні в системах для пожежної безпеки на виробництві та в побуті (Рис. 1). Це спеціальні системи, які реагують на перші ознаки займання і посилають сигнал на пульта охорони[1].

Авторами розроблена модель приладу, що реєструє пожежонебезпечну ситуацію на початковій стадії її розвитку. В більшості випадків при пожежі і виникненню відкритого вогню передуює поява диму. За допомогою детектора диму можна реєструвати дим або високу концентрацію пилових непрозорих частинок, зважених в повітрі. Прилад можна налаштувати на велику потужність і рознести трубки датчика диму на велику відстань і, навпаки, на високу чутливість. В детекторі диму використовуються такі оптоелектронні елементи як: світлодіод та фотодіод. Охоплює питання використання оптичних і електричних методів обробки, зберігання і передачі інформації.



Рисунок 1- Модель приладу для реєстрації забруднень на оптоструктурах

Література:

1. Дийков Л.К. Электронно-оптические извещатели пламени. Дийков Л.К., Медведев Ф.К и др. – Электроника: НТБ, 2000, №6

УДК 621.3.049.77

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЗАРЯДНИМ СТРУМОМ ДО 12 А

Щербина А.О., Коломоєць Г.Г.*

* к.ф.-м.н., доцент, Запорізька державна інженерна академія

На сьогоднішній день мікроелектронні прилади розвиваються дуже швидко. Мобільні гаджети, такі як смартфони, планшети, та інші мікроелектронні прилади міцно закріпилися у

нашому житті. Важливим компонентом будь-якого переносного пристрою є джерело живлення. Найчастіше за все джерелом живлення є різного рода батареї. Головним недоліком батарей є те, що з часом роботи приладу вони розряджуються, тому прилади для підзарядки батарей є невід'ємними для сучасних мобільних гаджетів. Одним з перспективних напрямів наукової діяльності у цьому напрямі є розробка універсальних зарядних приладів, які підійдуть як і для невеликих акумуляторів мобільних приладів, так і для автомобільних акумуляторних батарей, тощо.

Одним із прикладів зарядних пристроїв є пристрій, зібраний на основі блоку живлення для персонального комп'ютера ATX або AI потужністю 350 Вт [1]. Основною мікросхемою виступає (МС) TL494 або її аналог (МС) KA7500. Пристрій містить в собі компаратор DA2 типу LP311P, який запобігає перевантаженню системи, вольтметр цифровий, зібраний за класичною схемою DD1 типу P1C16F676, операційний підсилювач LM339. У вольтметрі використано три однозарядних індикатора з общим анодом HG1-HG3 типа ПЗВ-05212. Проектування та перевірка работоздатності схеми було виконано у середовищі програми Electronic Work Bench.

Розроблений прилад дає змогу виконувати підзарядку батарей фактично будь-якої ємності, зарядним струмом до 12 А. Прилад також дає можливість виконати підзарядку автомобільних акумуляторних батарей.

Література:

1. <http://kazus.ru/shemes/showpage/0/1521/1.html>

УДК 621.311.243:621.382

МІКРОЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ ДЛЯ ГЕЛЕОЕНЕРГЕТИКИ Серебряна А.О., Верьовкін Л.Л.*

* проф., к.т.н. Запорізька державна інженерна академія

У пристроях, що зветься екваторіальними стежачими системами, кут нахилу осі до землі підтримується постійним. У зв'язку з цим при зміні пір року відбуватиметься постійне зниження ефективності фотоелектричного перетворення. Для здобуття максимальної ефективності необхідно вводити додаткове регулювання кута нахилу. Зручність введення регулювання залежить від конкретної установки. Змінювати величину полярного кута недоцільно, інакше пропадає сам сенс подібного стежачого пристрою. Тому необхідно підстроювати кут, під яким сонячна панель кріпиться до вісі. Аби підвищити ККД сонячних панелей, застосовуються системи що стежать за сонцем і автоматично повертають сонячну панель для попадання прямих променів.

Актуальна розробка пристроїв, що дозволяють автоматично орієнтувати сонячну батарею на сонце – трекерів. Схема трекера (рис. 1) реалізована на сучасній елементній базі. Фототранзистори ТП414, операційні підсилювачі на мікросхемі LM339D, логічні елементи 2-І-НІ на мікросхемі K564ЛА7, польові транзистори з індукованим n-каналом IRF511, діоди, які шунтують обмотки реле, для усунення кидків напруги при перемиканні, 1N4002.

Автономне живлення схеми трекера дозволяє використовувати його незалежно від зовнішніх електричних мереж.

Розрахована модель дозволяє визначити схилення сонця, годинний кут сонця і тривалість сонячного випромінювання протягом доби в певній точці.

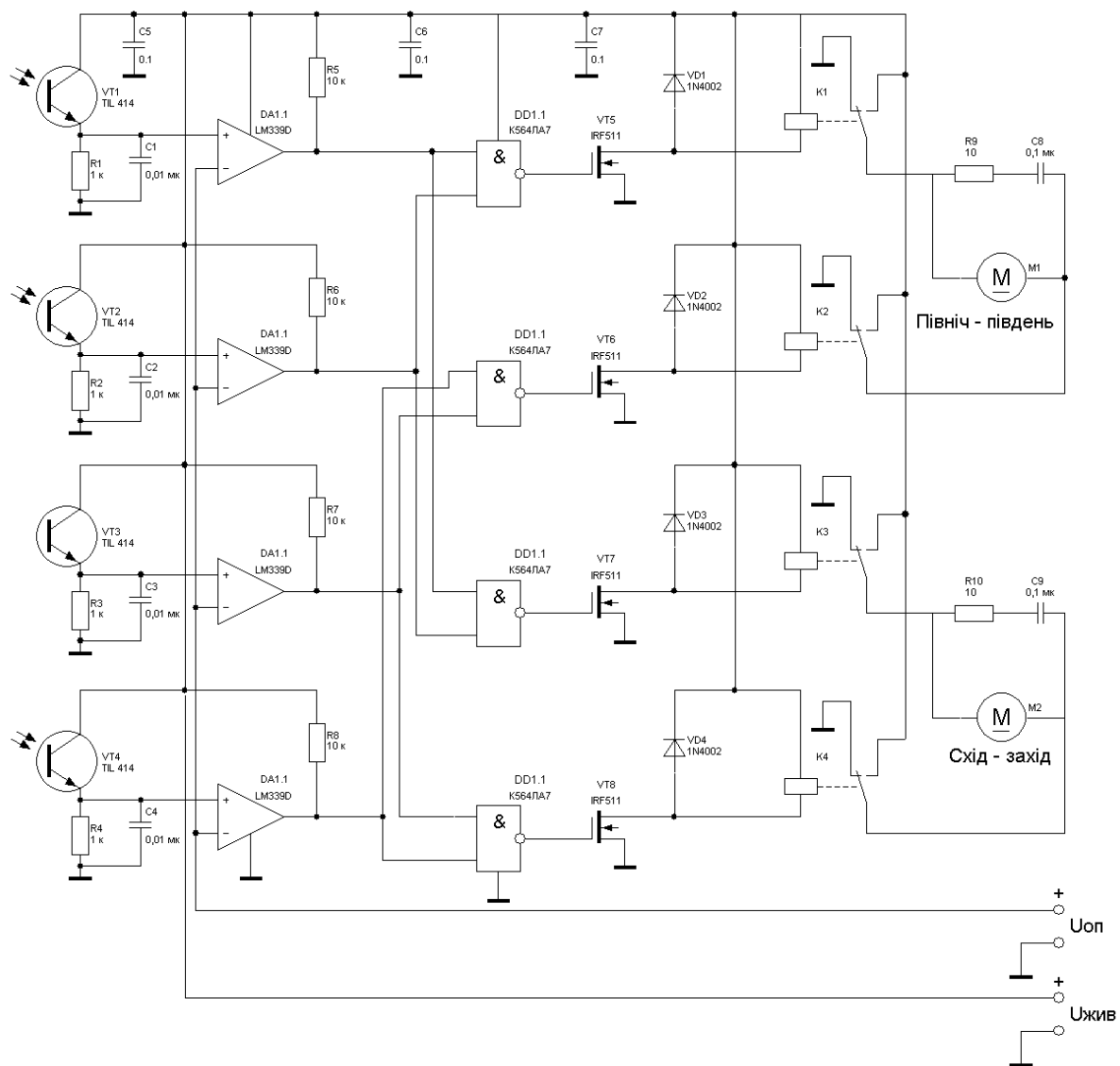


Рисунок 1 - Схема електрична принципова трекера

Література:

1. Фонаш С. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики [Текст] / С. Фонаш, А. Ротворф, Л. Казмирски и др. - М.: Мир, 1988. – 456 с.

УДК 62.376.23

РАДІОЧАСТОТНИЙ ІНДИКАТОР ШПИГУНСЬКИХ ПРИСТРОЇВ

Сивкова Ю.В., Коломоєць Г.Г.,

Запорізька державна інженерна академія

Анотація: Розглянуто розроблений та запропонований пристрій для виявлення шпигунських пристроїв.

Ключові слова: детектор, жучок, радіосингал, транзистор.

Annotation: The developed and proposed device for detecting spyware is considered.

Key words: detector, spyware, radio signal, transistor.

У наш час є достатньо великий попит на прилади, які виявляють шпигунські пристрої –

«жучки». Адже від дотримання комерційної таємниці часто залежить успіх справи. Зазвичай радіопрослуховуючі пристрої («жучки») випромінюють на одній частоті в діапазоні 30...500 МГц невелику потужність (до 5 мВт). Іноді такі пристрої працюють в режимі очікування: вмикаються на передачу при наявності шуму в приміщенні (що забезпечує економічність витрачання енергії елементів живлення). Шпигунські пристрої можуть мати постійне живлення від мережі 220 В - в цьому випадку вони розташовуються усередині розеток або перехідних трійників [1].

Практично будь-який широкосмуговий радіоприймач може бути використаний в якості детектора жучків.

Змодельований детектор «жучків» (рис. 1) виявляє сигнал в діапазоні частот від 1 до 1000 МГц. При роботі жучок випромінює радіосигнал, який вловлюється антеною детектора, і надходить на базу транзистора VT1 через високочастотний фільтр.

Дослідження показали, що операційний підсилювач, зібраний на елементі DD1.3, має високий коефіцієнт посилення, який визначається значеннями конденсатора C9 резисторів R13, R17.

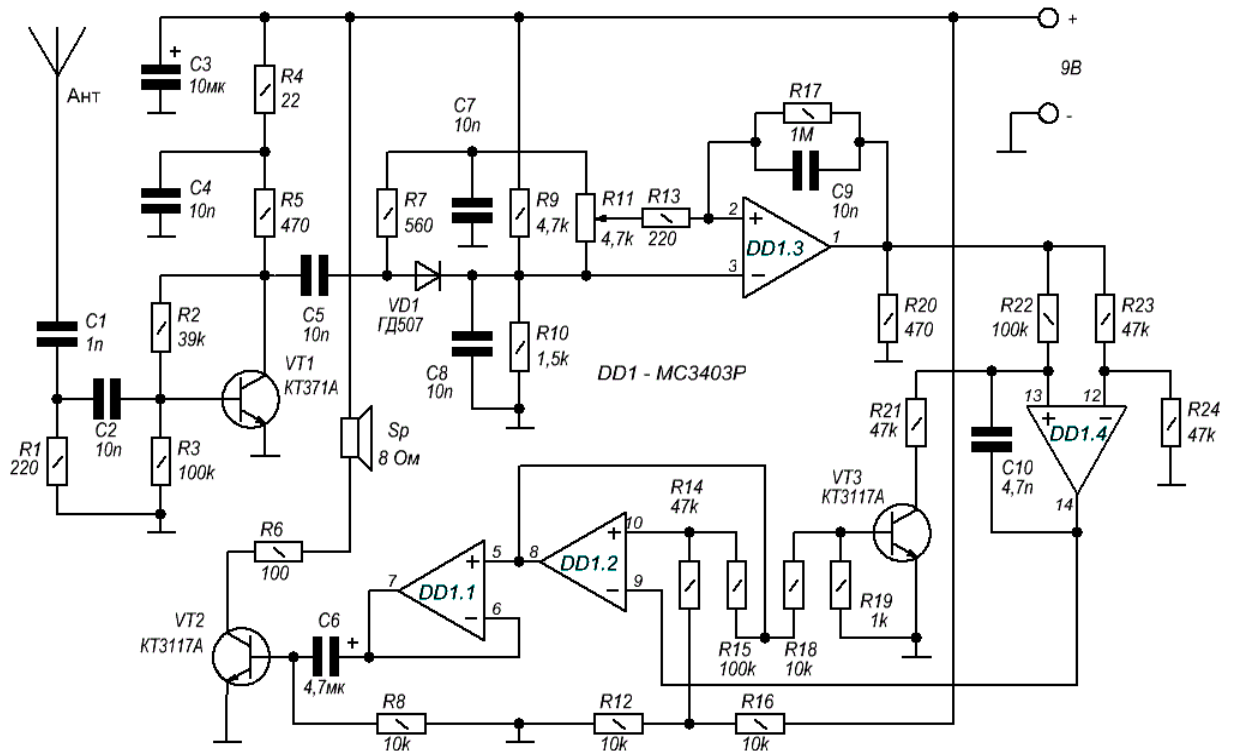


Рисунок 1 – Радіочастотний індикатор шпигунських пристроїв до 1000 МГц

При відсутності радіовипромінювання на антені, рівень сигналу на виході 1 ОУ DD1.3. близький до нуля. Коли поблизу антени детектора з'являється радіовипромінювання посилений сигнал з виходу 1 DD1.3, який надходить на генератор звукової частоти керований напругою, зібраний на елементах DD1.2., DD1.4. і транзисторі VT3. З виходу генератора звуковий сигнал посилюється транзистором VT2 і відтворюється за допомогою динаміка Sp з внутрішнім опором 8 Ом.

Література:

1. Андрианов В. И. Шпионские штучки и устройства для защиты объектов и информации / В. И. Андрианов, В. А. Бородин, А. В. Соколов. – М.: АСТ, 1996. – 241 с.

МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ НА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КОМПОНЕНТАХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ

Жос В.Ю., Небеснюк О.Ю.*

* доц., к.т.н, Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

Виготовлення високоякісних елементів, приладів та систем електронної техніки на сьогодні є актуальною проблемою і потребує фундаментального вивчення. Особлива увага приділяється новітнім технологіям отримання перспективних матеріалів та компонентів мікро- та наноелектроніки.

На сьогодні важко уявити будь які галузі без використання мікроелектронних приладів, систем і впровадження їх у повсякденному побуті. Широко використовуються компоненти на напівпровідникових структурах, які мають значні переваги у порівнянні з іншою елементною базою. Щоб уникнути проблем, пов'язаних з перепадом напруги у мережах, які відбуваються із-за старості електромереж, замикань і нерівномірності розподілу навантаження по окремих фазах, авторами пропонується модель мікроелектронного пристрою на сучасних напівпровідникових компонентах, головне завдання якого - це відключення електроприладів від мережі при занадто високих і дуже низьких значеннях напруги в ній, щоб підключена до електромережі техніка не вийшла з ладу.

Висока якість та економічність розробленої моделі дозволить вирішити проблеми з перепадами напруги в багатоповерхівках, які виникають через обрив робочого нуля. Якщо в будинку на під'їзній лінії встановлений повний комплект необхідного захисту сучасного рівня, то в результаті такого обриву відбувається спрацьовування автоматики пристрою захисного відключення. Однак в старому житловому фонді, де не стоять захисні автомати, обрив нуля призводить до перекосу фаз. І тоді в одних квартирах напруга стає низькою (50-100 В), а в інших дуже високою (300-350 В). При виникненні проблем такий мікроелектронний пристрій відключить мережу, попередивши поломку телевізорів, холодильників та іншої побутової техніки.

Відомо, що головний недолік і одночасно плюс трифазного реле - повне відключення живлення на виході при стрибку вольтажу навіть в одній з фазних ліній на вході. В окремих випадках така наднадійна перестраховка потрібна. Однак в переважній більшості ситуацій вона зайва.

Нерідко встановлюються у будинках стабілізатори напруги. Але, у порівнянні з розробленою моделлю мікроелектронного пристрою, стабілізатор: дорожчий і має більший рівень власних шумів; більш інертний при різких перепадах; не має можливостей для регулювання параметрів; займає набагато більше місця. При зменшенні вхідної напруги, щоб на виході стабілізатора були потрібні показники, він починає "втягувати" в себе більше струму з мережі. Другий основний мінус стабілізатора - це його нездатність перехопити різкий стрибок напруги при обриві нуля. У плані функціоналу стабілізатор не тільки вирівнює напругу, але і відключається при занадто високих показниках останньої.

Запропонована авторами модель мікроелектронного пристрою на напівпровідникових компонентах компактна, не займає багато місця в квартирному електрощиті, спрацьовує за частки секунди та має невисоку вартість.

Література:

1. Совет инженера [Електронний ресурс]: Реле контроля напряжения: принцип работы, схема, нюансы подключения – Режим доступа: <http://soviet-ingenera.com/elektrika/rele/rele-kontrolya-napryazheniya.html>. - Дата доступа: жовтень 2018.

ПРИСТРІЙ НА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУРАХ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ВТРАТ ТЕПЛА

Клікін О.В., Небеснюк О.Ю.*

* доц., к. т. н., Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

Основна частина енерговитрат в усьому світі йде на виробництво теплової енергії. Від міри утеплення будинку залежить наскільки ефективно витрачаються ці ресурси. Для дослідження будинку на тепловтрати використовують спеціальний прилад – тепловізор.

Цей теплотехнічний прилад призначений для проведення вимірювань температури різних поверхонь. Температура тіла, є величиною, що характеризує потужність інфрачервоного (теплового) випромінювання його поверхні. Дане теплове випромінювання тіл невидиме для наших очей, і лише тепловізорне обстеження, здатне дати нам можливість визначитися з місцями тепловтрат в будинку або квартирі і їх інтенсивністю.

Тепловізор показує на своєму дисплеї, з відповідною фіксацією у своїй пам'яті, розподіл тепла на поверхні, за допомогою відображення на екрані певного кольорового поля. Кожному кольору на дисплеї тепловізора відповідає певна температура на досліджуваній поверхні, що знаходиться у фокусі тепловізора.

За допомогою тепловізора проводиться обстеження квартир і будинків, як після проведення будівельних та реконструкційних робіт, так і в процесі їх експлуатації. Зняті тепловізором, термограми, за допомогою спеціального програмного забезпечення обробляється, і на виході ми отримуємо повне «тепловізорного обстеження об'єкта» з його термо і фотографічними зображеннями ділянок покрівлі будинку і його стін.

Як показали професійні дослідження житлових і промислових об'єктів за допомогою тепловізора, основні місця, де відбуваються суттєві втрати тепла це: зовнішні стіни будинків, віконні прорізи будівель і споруд, горищні перекриття будинків.

Також, фахівцями наголошується, що тепле повітря в будинках втрачається через їх міжпанельні шви і двері, підлогу квартир, розташованих на першому поверсі в багатоквартирних будинках, а також через зношені старі або неправильно змонтовані, нові віконні системи.

У наш час дуже гостро стоїть проблема опалення приміщень та збереження тепла. Завдяки таким приладам, які дають змогу дізнатися звідкіля йде витік тепла з можливість передчасно утеплити ці місця до настання холодів, що дозволить заощадити гроші на опалення. Але, обстеження цим пристроєм або його покупка дорого обійдуться, а для точного результату необхідна складна підготовка приміщень.

Тому актуальним є розробка бюджетного пристрою для індикації втрат тепла. Запропонований пристрій побудовано на основі терморезисторів з позитивним температурним коефіцієнтом (позисторах), має незначні габаритні розміри, простий у налаштуванні та не потребує додаткової підготовки приміщення.

Література:

1. Безруких П.П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики / П.П.Безруких // Электрика. – 2015. – №9. – С. 3

МОДЕЛЬ ОХОРОННОЇ СИСТЕМИ НА МІКРОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТАХ

Мажоров Р.Л., Небеснюк О.Ю.*

* доц., к. т. н. Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

На сьогодні актуальною проблемою є використання перспективних матеріалів та мікроелектронних компонентів для розробки пристроїв і систем різного призначення, що використовуються у виробництві і побуті., в тому числі питання охорони транспортних засобів від злону та навіть викрадення.

Встановлено, що в залежності від рівня технічної оснащеності охоронні системи можуть забезпечувати до трьох рівнів охорони, де кожна наступна функція вміщує попередні: сигнальні функції, сигнальні та протиугінні, протиугінні та сервісні функції.

Сигнальні функції використовуються для відлякування зловмисників та оповіщення власника автомобіля про проникнення у салон, багажник або моторний відсік, про піддомкращування або переміщення автомобіля, про удари по кузову тощо.

Протиугінні функції призначені безпосередньо для перешкоджання угону автомобіля за рахунок блокування систем живлення, запалення, подачі палива та т. ін.

Сервісні функції призначені для підвищення комфорту експлуатації автомобіля та додатково надають певний сервіс у напрямі забезпечення безпеки автомобіля – розпізнавання власника, його стану, повідомлення про місцезнаходження автомобіля тощо.

Особливої уваги заслуговують телематичні системи охорони виготовлені на напівпровідникових структурах, які мають значні переваги у порівнянні з механічними та електронними системами. Відповідно до наданих функцій системи відрізняються своєю комплектацією, алгоритмічною складністю, вартістю.

Телематичні охоронні системи мають значно покращене електронне обслуговування об'єктів. Приміром, біометричний захист, який розпізнає власника авто за допомогою відбитка пальця та передає інформацію на смартфон про рівень палива, пробіг, місцезнаходження машини та ін. Однак такі системи потребують спеціального налаштування.

Електронні системи — це імобілайзери, секретні кнопки для електричних ланцюгів, електронні мітки, сирени. Перевага таких моделей в універсальності: недорогі і підходять для будь-яких моделей авто. Але і зламати їх можна за допомогою програм, причому дистанційно, без прямого контакту з машиною.

Механічні системи — замки, блокувальники на кермо, педалі, двері, капот. Такі моделі можуть лише затримати шахрая на місці злочину. Але і цього буває достатньо для того, щоб викрадач відмовився від своєї поганої затії. Механічні моделі не мають варіацій у встановленні і вимагають часу для монтажу.

Авторами розроблена модель охоронної системи на напівпровідникових структурах, яка має багато функціональних можливостей: у разі несанкціонованого проникнення може подавати звукові та світлові сигнали тривоги, блокувати роботу двигуна, проста у налаштуванні та не потребує суттєвого переобладнання автомобіля, економічна та надійна в експлуатації.

Література:

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения ISBN: 978-5-9912-0025-7 .- 2008 .- 496с.

УДК 534.32

МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ІМІТАЦІЇ ЗВУКІВ ПРИРОДИ

Ніколенко Д.С., Небеснюк О.Ю.*

* к.т.н., доц., Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

Звуки оточують людину усе життя. Вони є необхідною складовою комунікації людини у суспільстві, попереджають про небезпеку, дають змогу пізнавати нове та насолджуватися життям.

Однак звук у сучаснім суспільстві часто є неприємним і дратівним. Людину, особливо у місті, майже постійно оточують шкідливі шуми: звуки автотранспорту, гомін натовпу в магазині чи кафе, технологічне обладнання і т.і. Все це має негативні наслідки для організму людини, тому дуже важливим є прослуховування звуків, що заспокоюють нервову систему, дозволяють почувати себе частиною природи. Такі звуки, як: тріск багаття, дзюрчання води чи спів птахів, мають позитивний вплив на організм людини.

Лікування звуками використовувалося людьми з давніх часів: єгиптяни вважали, що хоровий спів може лікувати безсоння, а греки лікували нервові розлади звуками труби. В наш час для лікування частіше використовують звуки природи, такі як спів птахів, звуки лісу чи моря. Тож прилад для імітування звуків природи може використовуватись в медицині для лікування нервових розладів.

Аналіз пристроїв показав, що UA 62855 може імітувати голоси тварин. При роботі цього пристрою, користувач за допомогою вузла керування вибирає потрібний сигнал, після чого за допомогою відповідної програми через джерело звука він відтворюється.

Недоліками цього пристрою, через які він недостатньо надійний і ефективний, є обмеженість голосів, внаслідок незручності і тривалості їх вибору з носія інформації, шляхом послідовного натиснення на кнопки вибору голосів вузла керування, неможливість досягнення якісного і тривалого звучання і відтворення одночасно більше одного голосу.

Тому розробка малогабаритного, не дорогого та багатофункціонального пристрою для імітації звуків природи є достатньо актуальною. Запропонований пристрій може застосовуватися для імітації криків птахів та тварин у шкільних живих куточках, театральних постановках та радіопередачах, в лікувальних закладах.

Література:

1. Дія шуму і вібрації на організм людини [Електронний ресурс]: https://pidruchniki.com/1327010838293/bzhd/vpliv_shumu_organizm_lyudini__ (дата звернення 26.09.2018).

2. Пристрій для відтворення звуків природи [Електронний ресурс]: <http://uapatents.com/4-62855-pristriij-dlya-vidtvorennya-zvukiv-prirodi.html> (дата звернення 26.09.2018).

УДК 669.712

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ

Пономарьова М.В., Небеснюк О.Ю.*

* доц., к. т. н., Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

Насьогодні проблема виготовлення мікроелектронних пристроїв з використанням новітніх технологій та компонентів мікро – та нанелектроніки дуже актуальна. Відомо, що традиційні джерела енергії стрімко закінчуються і вже через яких-небудь п'ятдесят років можуть бути вичерпані. Енергетичні ресурси досить дорогі і значною мірою впливають на економіку багатьох держав. Все це змушує жителів нашої планети шукати нові способи

отримання енергії. І одним з найбільш перспективних напрямків є розробка мікроелектронного пристрою для заряду акумуляторної батареї, яка є поновлюваним джерелом енергії та екологічно чистим.

Існує два основних способи перетворення сонячної енергії: фототермічний та фотоелектричний.

Встановлено, що найбільш широко на сьогодні використовується фототермічний спосіб перетворення сонячної енергії. В даному випадку теплоносії, зазвичай вода, нагрівається до високої температури і використовується для опалення приміщення. Сонячне випромінювання, проникаючи через скло або пластмасу в колектор, поглинається чорними трубками і плитою та нагріває робочу речовину в трубках. Теплове випромінювання не може вийти з колектору, тому температура в ньому значно вище, ніж температура навколишнього середовища. В цьому проявляється так званий парниковий ефект.

Фотоелектричний спосіб. На думку експертів, майбутнє сонячної енергії пов'язано з прямим перетворенням сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів — сонячних батарей. У фотоелектричних перетвореннях сонячної енергії використовується кремній з домішками інших елементів.

Ефективність сучасних кремнієвих фотоелементів досить висока. Їх коефіцієнт корисної дії (ККД) досягає 10-20%, а чим вище ККД, тим менше потрібна площа сонячних батарей. Серед інших переваг батареї на сонячній енергії, варто відзначити тривалий термін служби. Він становить 25 років і більше, без погіршення експлуатаційних характеристик.

Тому питання розробки мікроелектронного пристрою заряду акумуляторної батареї від сонячної панелі є достатньо актуальним.

Запропонований пристрій контролює рівень заряду батареї і при необхідності здійснює її підзарядку. Пристрій виконано на базі мікроконтролера, який вимірює напругу на акумуляторі і якщо напруга на ньому опустилася нижче допустимого порогу, включає схему зарядки.

Запропонована розробка має компактний корпус, низьке енергоспоживання, живлення від місто USB, для відображення необхідної інформації оснащена дисплеєм.

Література:

1. [www/http://n-energy.com.ua](http://n-energy.com.ua)
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: // zakon.rada.gov.ua/signal/kr06145a.doc

УДК 621.396

МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШУМУ НА НАНОСТРУКТУРАХ

Ральченко М.Ю., Небеснюк О.Ю.*

* доц., к.т.н, Запорізька державна інженерна академія, 0811oksana@gmail.com

Мікроелектронні прилади, що дозволяють оцінити рівень шуму у приміщеннях називаються шумомірами. Актуальною проблемою на сучасному ринку шумомірів є використання перспективних матеріалів та компонентів мікро- та наноелектроніки для їх виготовлення. Популярними стають і цифрові прилади. Вони мають невеликі розміри і надійний пластиковий корпус, який доповнюється мікрофоном - втім, цей елемент може бути інтегрований всередину пристрою. До складу приладу також входить підсилювач, елементи фільтрації, індикатор і детектор.

Відомо, що звуки оточують нас всюди. У зв'язку з цим зростає значення регулювання шумових параметрів. На робочих місцях, наприклад, пред'являються спеціальні вимоги по організації умов праці. До переліку таких вимог неодмінно входять і оптимальні показники

впливу звуку. Однак, дослідження шуму може знадобитися і в інших ситуаціях - в медичному закладі, в громадських місцях і в домашніх умовах.

Акустичні виміри дозволяють поліпшити параметри будівельних конструкцій, є ефективним діагностичним методом, що використовується при вирішенні проблем боротьби шумами в аеропортах, промисловості, будинках, житлових приміщеннях, радіо студіях і т.і. Вони дають ясну й однозначну індикацію ступеня небезпеки й шкідливості звуків і шумів і, отже, сприяють завчасному прийняттю відповідних контрзаходів.

На основі аудіометричних досліджень і вимірів можна оцінювати чутливість і гостроту слуху людей. Слух дозволяє людині сприймати звукову інформацію. Разом з тим, насичення навколишнього простору шумами підвищеної інтенсивності може привести до перекручування звукової інформації й порушенню слухової активності людини. Прояв шкідливого впливу шуму на організм людини досить різноманітний [1].

Встановлено, що найбільш небезпечний тривалий вплив інтенсивного шуму на слух людини, що може привести до часткової або повної втрати слуху. Світова статистика показує, що приглухуватість в останні роки виходить на провідне місце в структурі професійних захворювань і не має тенденції до зниження. Тому необхідні високочутливі прилади з використанням нових матеріалів та компонентів на наноструктурах, які дозволять визначити особливості сприйняття звуку людиною, щоб забезпечити її здоров'я, високу продуктивність й комфортність [2].

Авторами розроблена модель мікроелектронного пристрою на наноструктурах, що живиться від джерела постійної напруги 5 В, при чому споживна потужність не перевищує 5-7 Вт, має незначні габаритні розміри та вартість. Пристрій призначений для періодичного виміру рівня акустичного шуму. У випадку перевищення рівнем шуму деякого порогу схема за допомогою реле включає навантаження, наприклад, сигнальну лампу або сирену, дзвінок або табло «Тихіше».

Література

1. Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А. Моніторинг навколишнього природного середовища. Навчальний посібник. – К. КНТ, 2007. –172 с.
2. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навч. посібник / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар [та ін.]. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 312 с.

УДК 669.712

МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПЕРЕВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ

Кбайдат Імад, Шахов В.І., Небеснюк О.Ю.*

* к. т. н., доцент, Запорізька державна інженерна академія, 0811 oksana@gmail.com

Є багато різних ситуацій та процесів коли швидкість повинна триматися у певних межах. Від цього може залежати велика кількість різних речей наприклад: процес виготовлення продукції на конвеєрі, безпека людини, точність дослідження, цільність конструкцій та інше.

Пристрій контролю швидкості автомобіля (тахометр) завдяки зчитування кількості обертів валу за секунду може розрахувати швидкість автомобіля у цей момент часу та попереджувати водія при перевищуванні певного ліміту. Сигнал про перевищення швидкості може виводитися прямо на панель пристроїв, зазвичай прямо на шкалі швидкості.

Сьогодні відомо два види тахометрів, які розрізняються по конструкції і принципу дії. Аналоговий прилад включає в себе магнітну котушку, елементи для зчитування інформації з колінчастого валу і індикатор, встановлений на приладовій панелі. Більш сучасний цифровий

тахометр являє собою складну конструкцію з процесора, оптрона, АЦП, мікросхем і спеціальної рідкокристалічної панелі, на якій виводяться отримані дані.

Винахідником тахометра є німецький інженер Дітріх Ульхорн. Ще в 1817 році він придумав спеціальний механічний пристрій, який вимірював відцентрову силу, аналогічну роботі відцентрового генератора. З 1840 року його почали ставити на залізничні локомотиви, а згодом – і на автомобільний транспорт.

Перевищення швидкості може привести до різних, зазвичай негативних, наслідків. При збільшенні швидкості підвищується не тільки гальмівний шлях автомобіля, а й погіршується реакція водія. Кут огляду знижується, а тому падає і швидкість реакції на раптову появу перешкоди, в цьому випадку пішоходів.

Статистика дорожніх -транспортних пригод в Україні геть не втішна: в середньому щодня на українських дорогах внаслідок ДТП помирають 10 людей. У поліції назвали головні причини аварій на українських дорогах, найпоширеніші – перевищення швидкості (у 35% випадків). З жовтня місяця в Україні поліція відновила контроль швидкості на дорогах через використання пристроїв вимірювання.

Вибір оптимальної швидкості руху також дозволяє знизити витрати на паливо, тому розробка приладів, що можуть попередити про перевищення швидкості, або навіть завадити цьому є актуальним технічним завданням.

Запропонований прилад дозволить контролювати швидкість авто, та своєчасно попереджати водія про небезпеку. При перевищенні допустимої швидкості пристрій подає звуковий сигнал, який зникає при зменшенні швидкості на 5-6 км/год, також інформація виводиться на рідкокристалічний індикатор. Пристрій має незначні габаритні розміри, простий у монтажі та налаштуванні і може використовуватися у власному транспорті та автомобільних парках громадського та військового транспорту для забезпечення безпеки дорожнього руху.

Література:

1. <http://uzr.com.ua/raznoe/zhurnal/arhiv-zhurnala/>
2. <http://www.avtomir.ua/archive/>

УДК 621.362

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВТОРИННОЇ ЕНЕРГІЇ

Фатєєв С.О.¹, Кісельов Є.М.²

Запорізька державна інженерна академія, кафедра мікроелектронних інформаційних систем, 1 – студент,; Serchemp@gmail.com , 2 - доцент

Анотація: Розробка сучасного термоелектричного перетворювача.

Ключові слова: термоелектрика, енергія, розвиток, електрика, теплова енергія

Annotation: Development of modern thermoelectric converter.

Key words: thermoelectric, energy, development, electricity, thermal energy

Розробка альтернативних приладів здатних перетворювати різні види енергії є однією з провідних тем сьогодні. Термоелектричні перетворювачі є одними таких приладів. Вони зможуть суттєво охолоджувати активно діючі джерела втраченого тепла, або фотоелектричні термоперетворювачі[1]

Піроелектричний пристрій для збирання теплової енергії та генерування електричного струму включає в себе консольний шістковий піроелектричний конденсатор, що проходить між першою поверхнею, де перша поверхня містить різницю температури від другої поверхні. Шарований піроелектричний конденсатор включає в себе провідний шар біметалу верхнього електрода, проміжний піроелектричний діелектричний шар і провідний шар електродів; Крім того, пара доказових мас закріплюється на дистальному кінці шаруватого

піроелектричного конденсатора перед поверхнею першої та другої поверхні, де в стійких масах коливається між першою поверхнею і другою поверхнею так, що генерується піроелектричний струм в піроелектричному конденсаторі через циркуляцію температури, коли доказові маси поперемінно контактують з першою поверхнею та другою поверхнею.[2]

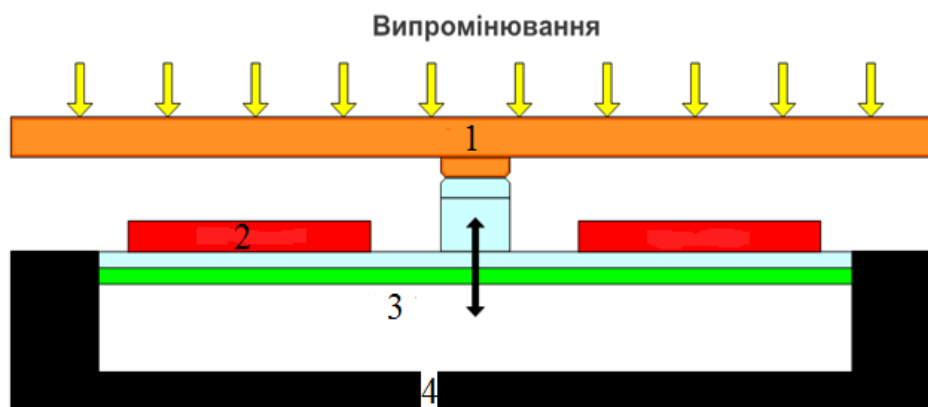


Рисунок: 1. Нагрівач 2.Перетворювач 3. Мембрана 4. Тепловідвід

Під дією поглинання, випромінення або зовнішніх джерел тепла, нагрівач підвищує свою температуру. Завдяки контакту нагрівача з біметалічною мембраною відбув її нагрівання, в результаті чого, в наслідок різних коефіцієнтів термічного розширення металевих шарів відбувається вигинання мембрани в бік тепловоду(несучої рамки). При цьому, розривається контакт нагрівача з мембраною і вона поступово охолоджується, повертаючись до свого початкового стану. Таким чином, циклічно повторюється процес нагрівання/охолодження мембрани. Розташовані на мембрані піроелектричні перетворювачі генерують змінний сигнал, який надходить до системи накопичення електричної енергії.[3]

Габаритні розміри запропонованої конструкції становить 100x50x20 мкм, а середня потужність – приблизно 10 мкВт. При цьому, можливо паралельне з'єднання декількох перетворювачів, що дозволить підвищити потужність перетворювача.

Подальше дослідження запропонованого пристрою спрямовані на розробку і дослідження кінцевої елементної моделі та оптимізацію на основі цих розмірів елементів перетворювача.

Література:

1. Фатєєв, С.О. Сучасні перетворювачі вторинної енергії / С. О. Фатєєв, Є. М. Кісельов// Матеріали XXIII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, 23-26 жовтня 2018 р. – Запоріжжя, 2018. – Т. III. - С. 18.

2. MEMS based pyroelectric thermal energy harvester: пат. 0056504 USA: МПК H02N 3/00, Pub. Date 08.03.2012.

3. Кісельов, Є. М. Побудова системи накопичення і перетворення вторинної енергії / Є. М. Кісельов, А. В. Таранець // Матеріали XXIII науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, 23-26 жовтня 2018 р. – Запоріжжя, 2018. – Т. III. - С. 19.

УДК 621.3

СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АДРЕСНОГО БАЛАНСУВАННЯ ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Стисло Б.О.¹, Васильєв М.А.²

¹ – асистент кафедри «Промислова і біомедична електроніка» НТУ «ХПІ», orcid: 0000-0001-7057-3523, ² – магістрант кафедри «Промислова і біомедична електроніка» НТУ «ХПІ», bohdanstyslo@gmail.com

Анотація: Наявність флуктуації потужності в мережі електропостачання призводить до зниження ефективності енергосистеми. Для компенсації пульсацій потужності в мережі електропостачання пропонується використання гібридних накопичувачів електричної енергії. Їх застосування вимагає використання сервісних перетворювачів електричної енергії. Для забезпечення припустимих режимів роботи накопичувачів запропоновано застосування системи інтелектуального активного балансування.

Ключові слова: система електропостачання, якість електроенергії, БСНЕ, балансування акумуляторів, енергоефективність.

Annotation: The pulsating mode of the power consumption in the power supply network is the cause of decrease in the efficiency of the energy system. To compensate power fluctuations in the electric power supply network, it is proposed to use hybrid electric energy storage devices. Their use requires the use of service converters of electrical energy. To ensure the permissible modes of operation of the drives, the use of an intelligent active balancing system was proposed.

Key words: power supply system, power quality, BESS, battery equalizing, energy efficiency.

Стрімкий розвиток силової електроніки та поява на ринку нових типів накопичувачів електричної енергії дозволяють створювати сучасні енергоефективні батарейні системи накопичення енергії (БСНЕ), застосування яких у складі силових активних фільтрів та підсилюючих пунктів дозволяє покращити якість електричної енергії за рахунок зменшення флуктуації потужності при нерівномірному її споживанні нелінійним навантаженням.

Аналіз спектрального складу струму, що споживається з мережі, дає передумови до застосування в якості енергоємних накопичувачів гібридних БСНЕ, що містять у своєму складі накопичувачі з різним типовим часом зарядно-розрядного процесу. Так, низькочастотні флуктуації потужності доцільно компенсувати за рахунок акумуляторних батарей, а високочастотні – за рахунок двошарових конденсаторів. Такий розподіл дозволяє збільшити ресурс акумуляторних батарей за рахунок зменшення кількості зарядо-розрядних циклів та покращити динамічні властивості системи. Для ефективного використання гібридного накопичувача доцільне використання кооперативних перетворювачів, структура яких освітлена в ряді робіт авторів.

Незважаючи на широку номенклатуру акумуляторних накопичувачів електричної енергії, специфіка використання їх в енергетиці накладає досить серйозні обмеження на вибір типу акумулятора: висока енергоємність; термін служби акумуляторної батареї (без обслуговування); відсутність «ефекту пам'яті»; допустимість режимів швидкого заряду батареї; здатність працювати в режимі великих струмових перевантажень; безпека використання; низька вартість. Серед існуючих типів електрохімічних накопичувачів електричної енергії найкращі енергетичні характеристики мають LiFePO₄ акумулятори, що поєднують в собі всі переваги літєвих акумуляторів, до того ж є цілком безпечними з міркувань пожежонебезпеки.

Відомо, що правильна експлуатація акумуляторних батарей на основі літію дозволяє збільшити їх ресурс від 2 до 7 тис. зарядо-розрядних циклів. Застосування одиничних акумуляторів в складі БСНЕ вимагає їх послідовного з'єднання для забезпечення необхідного рівня вихідної напруги. В такому випадку постає задача дотримання граничних рівнів напруги на кожному з послідовно включених акумуляторів а також їх балансування.

Дана функція забезпечується системою енергоменеджменту батареї (Battery Management System - BMS).

На сьогоднішній день існує два класи систем балансування – пасивні та активні. З питань енергоефективності перший клас не рекомендовано застосовувати в потужних накопичувачах, оскільки їх функція зводиться до «спалювання» надлишкової енергії в байпасних резисторах. Системи активного балансування передбачають перерозподіл електричної енергії між послідовно з'єднаними акумуляторами, що мають різний рівень зарядженості.

Авторами пропонується для реалізації вищевказаної задачі використання інтелектуальної BMS на основі схеми активного балансира. В процесі балансування напруги на послідовно з'єднаних акумуляторах відбувається процес обміну енергією між акумуляторами. Інтелектуальна система балансування обрахувати ще на початку процесу балансування рівень напруги u_{eq} , до якого відбувається балансування. Ця величина дозволяє визначити які з акумуляторів мають надлишковий запас заряду, а які потребують додаткового заряду а також завершити процес передачі енергії при досягненні на акумуляторах, що балансуються рівню напруги u_{eq} . Значення напруги балансування має бути визначене через величину енергій заряджених накопичувачів. В найпростішому вигляді накопичувачі електричної енергії можуть бути умовно замінені конденсаторами, що мають деяке значення напруги в зарядженому стані. Тоді, напруга балансування визначається як $u_{eq} = 0,5 \cdot (\sum u_{Ci}^2)^{1/2}$.

Запропонована система керування BMS реалізує алгоритм прогнозного регулятора, що дозволяє зменшити кількість датчиків в системі, обмежившись лише одним – датчиком напруги на вимірювальній обмотці трансформатора. Всі інші параметри схеми (струм заряду, розряду, рівень розбалансування та величині внутрішній опір кожної батареї) обчислюються цифровою системою керування.

Функціонально, схема перетворювача, що входить до складу BMS виконана за оберненоходовою топологією, а сам процес балансування виконується за декілька етапів, на кожному з яких виконується попарне балансування акумуляторів з надлишковим (акумулятор-донор) і недостатнім (акумулятор-акцептор) рівнів зарядженості до моменту досягнення одним із акумуляторів раніше визначеного рівня напруги u_{eq} . З метою мінімізації потужності статичних втрат в силових ключах схеми, використовуються синхронні випрямлячі. Зменшення потужності динамічних втрат досягається специфікою режиму роботи перетворювача – його роботою в режимі гранично-переривчастого магнітного потоку. Оскільки в процесі балансування змінюються рівні напруги на акумуляторах, що балансуються, для забезпечення заданого режиму роботи перетворювача коефіцієнт заповнення імпульсів керування силовими ключами має визначатися системою керування на кожному такті ШІМ і становить $D = U_{min} / U_{min} + U_{max}$, де U_{min} , U_{max} – значення напруги на парі акумуляторів, що балансуються.

Максимальне припустиме значення струму балансування I_m обмежується індуктивністю дросель-трансформатора, параметри якого визначаються за виразом $L = (0,5 \cdot T \cdot U_m) / I_m$, де U_m – максимально припустиме значення напруги на акумуляторі. Оскільки для кожної можливої пари «донор-акцептор» значення коефіцієнту заповнення D різне, має різне значення, відповідно, і діюче значення струму балансування. Це означає, що існують пари «донор-акцептор», при балансуванні яких на поточному кроці буде виділено менше значення потужності втрат P_{st} в елементах схеми. Цей факт дозволяє виконувати оптимізацію процесу балансування, обираючи кожного разу таку пару, щоб виконувалась умова $P_{st} = min$. Виконані розрахунки та імітаційне моделювання підтверджує доцільність оптимізації процесу балансування. Експериментальні дослідження показали, що запропонована система дозволяє покращити ефективність балансування до 15% в порівнянні з існуючими на сьогоднішній день аналогічними системами.

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЧИСТОТЫ****¹Критская Т.В., ²Шварцман Л.Я.**

¹Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина, krytskaja2017@gmail.com,

²Компания SILIDO Alliance LLP г. Запорожье, Украина, schv1941@gmail.com

Используемая во всём мире промышленная технология получения кремния полупроводниковой чистоты (Сименс-процесс), включающая карботермическое восстановление кварцитов, синтез трихлорсилана SiHCl_3 , водородное восстановление SiHCl_3 с получением стержней поликристаллического кремния (ПКК), разделение компонентов отходящей парогазовой смеси (ПГС) и их утилизацию существует более 60 лет и во многом исчерпала себя. Это касается как перспектив кардинального улучшения технико-экономических показателей процесса (достигнуты предельные показатели энергетической и экономической эффективности), так и проблематики перспектив наращивания сырьевого обеспечения. Проблемой, тормозящей развитие технологий ПКК, является сырьевое ограничение, определяемое использованием в традиционной технологии кварцитов в качестве исходного сырья. Решение основной проблемы видится в применении доступного кварцевого песка. Предлагаемая новая технология, сохраняя преимущества очистки и сепарации хлоридов кремния, позволяет расширить сырьевую базу - отказаться от дефицитных кварцитов и древесного угля, перейти к шихте, состоящей из кварцевого песка, широкого спектра углеродсодержащих компонентов (коксовая мелочь, коксовая пыль, нефтяной кокс), а также использовать техногенные отходы абразивной, электродной промышленности, кремнийорганики (например, так называемых «сростков» - различных комбинаций соединений на базе карбида кремния SiC).

Преимуществами новой технологии являются:

- активация реагентов в твердой фазе - отказ от энергозатратного карботермического восстановления кварцитов (РТП, температура до 2000°C , 12...17 тыс кВт·ч/т);
- активирование в твердой фазе шихтовой композиции, обеспечивающее эффективное низкотемпературное хлорирование в шахтном хлораторе;
- выведение из процесса операции синтеза хлорводорода (температура до 2300°C);
- выведение из процесса высокоэнергетических операций разделительной конденсации ПГС (температура ниже -60°C);
- выведение из процесса высокоэнергетической операции высокотемпературного гидрирования тетраоксида кремния (температура процесса 1270°C);
- хлорирование в солевом хлораторе (в расплаве) «хвостов» предшествующих переделов.
- переход на низкотемпературное гидрирование с различными вариантами конечных переделов:
 - получение стержневого ПКК пиролизом моносилана - Dupon-процесс,
 - водородное восстановление кремния из трихлорсилана - CVD-процесс,
 - получение гранулированного ПКК пиролизом моносилана в псевдо-виброкипящем слое затравок кремния - DASSEL-процесс.

Из полученного по новой технологии поликристаллического кремния будет реализовано производство монокристаллического кремния с повышенной термостабильностью, радиационной стойкостью, повышенной пластичностью и механической прочностью (за счёт управления содержанием O, C, специального легирования Ga, Ge, N₂ и др.)

СЕКЦІЯ «СЕНСОРНІ СИСТЕМИ»

УДК 535.016

ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІВКОВОГО НАГРІВАЧА В СЕНСОРІ НА ОСНОВІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Дорожинська Г.В.¹, Дорожинський Г.В.², Маслов В.П.³

¹ORCID ID 0000-0002-9352-3761, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», аспірант, annakushnir30@ukr.net

²ORCID ID 0000-0002-7881-2493, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, старший науковий співробітник, gvdorozinsky@ukr.net

³ORCID ID 0000-0001-7795-6156, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, завідувачий відділом, vpmaslov@ukr.net

Анотація: В роботі продемонстровано можливість застосування тонкоплівкових композитних нагрівальних елементів (In_2O_3 -20%, SnO_2 -80%) в сенсорах на основі явища поверхневого плазмонного резонансу з золотим плазмонним шаром. Це дозволило зменшити потужність споживання в 1,5 рази (з 3,4 Вт до 2,2 Вт) у порівнянні з об'ємними резистивними нагрівачами. Експериментальні оптичні характеристики запропонованого сенсора узгоджуються з чисельним моделюванням на основі математичного формалізму матриць розсіювання Джонса та формул Френеля. Відносна похибка моделі не перевищувала 0,03% по відношенню до результатів вимірювань.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс; сенсор; оксиди індію та олова; температура

Annotation: The possibility of using thin-film composite heating elements (In_2O_3 -20%, SnO_2 -80%) in sensors based on surface plasmon resonance phenomenon with a gold plasmon layer is demonstrated. This allowed to reduce the power consumption by 1.5 times (from 3.4 W to 2.2 W) compared to volumetric resistive heaters. Experimental optical characteristics of the proposed sensor are consistent with numerical simulation based on the mathematical formalism of the Jones scattering matrices and Fresnel formulas. The relative error of the model does not exceed 0.03% relative to the measurement results.

Key words: surface plasmon resonance; sensor; indium tin oxide (ITO); temperature

Одним з перспективних оптичних методів аналізу різних сполук та мікрооб'єктів, а також процесів на молекулярному рівні є рефрактометричний метод на основі явища поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Хімічні і біологічні сенсори ППР-приладів складаються з чутливого елемента та фізичного перетворювача. У якості чутливого елемента переважно використовують благородні метали, а саме: срібло та золото [1]. Врахування температурного фактору має важливе значення для підвищення точності вимірювань ППР-приладів [2], а для зменшення його впливу на результати вимірювання застосовують методи стабілізації температури [3]. Стабілізація температури переважно забезпечується резистивними нагрівачами та/або елементами Пельтьє. Для розширення діапазону регулювання температури та швидкодії нагрівачів (охолоджувачів) збільшують споживану ними електричну потужність, що призводить до збільшення габаритів ППР-приладів.

У даній роботі досліджена можливість використання підшару ІТО як плівкового нагрівача золотого ППР-сенсору. Для порівняння були обрані два типи зразків: з підшаром ІТО [4, 5] та без нього. Тонкі плівки ІТО (In_2O_3 -20%, SnO_2 -80%) наносили магнетронним розпиленням на скляні підкладки товщиною 1 мм та розмірами 18×14 мм. Товщина осадженого шару за результатами атомно-силової мікроскопії становила 65 ± 2 нм. Використовуючи термічне осадження у вакуумі, ці підкладки були покриті золотою плівкою

товщиною 50 ± 2 нм. Товщина нанесеного шару контролювалась методом кварцового мікробалансу безпосередньо під час процесу осадження.

Дослідження впливу підшару ІТО на форму характеристики відбиття золотого ППР-сенсора проводили на приладі «Плазмон-6», розробленому в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України [6]. Прилад розміщали в термостаті для мінімізації температурної похибки результатів вимірювання. Для золотого ППР-сенсора з підшаром ІТО характеристика відбиття мала мінімум 43.789 ± 0.0015 кутових градусів, що трохи нижче, ніж для золотого ППР-сенсора без плівки ІТО (43.802 ± 0.0015 градусів) [7]. Різниця в цих значеннях кутового положення обумовлена впливом підшару ІТО. Також було проведене чисельне моделювання характеристик відбиття для структури Au-ІТО, котрі були розраховані як функції кута падіння за допомогою формул Френеля та математичного формалізму матриць розсіювання Джонса [8]. Розраховане значення мінімуму характеристики відбиття становило $43,796 \pm 0,001$ кутові градуси, а товщини шарів золота та ІТО: 66 нм та 51 нм, відповідно. Результати моделювання добре узгоджуються з експериментами. Відносна похибка не перевищує 0,03%, а розраховані значення товщини плівок знаходяться в області поля допуску ± 2 нм.

Для визначення ефективності теплопередачі тестували зразки за допомогою методики [9]. Споживана плівковим нагрівачем потужність становила 2,2 Вт при нагріві чутливого елемента до температури $52,0$ °С. При нагріві чутливого елемента резистивним нагрівачем до такої ж температури необхідна потужність 3,4 Вт. Таким чином, застосування плівкового нагрівача зменшило енергоспоживання більш ніж у 1,5 рази.

Література:

1. Shirshov, Yu.M., A.V. Samoylov, S.A. Zinyo, E.R. Surovceva and V.Mirskiy, "Bimetallic layers increase sensitivity of affinity sensors based on surface plasmon resonance", *Sensors*, 2002, pp. 62-70.
2. Lin, K, "Numerical and experimental investigations of temperature effects on the surface plasmon resonance sensor", *Chinese Optics Letters*, 2009, pp. 428-431.
3. Ushenin Yu.V., Maslov V.P., Turu T.A., Dorozinsky G.V., and Kachur N.V. "Application of temperature sensors for improving the device based on the phenomenon of surface plasmon", *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*, Odessa, 2016, pp. 33-40.
4. Akrajas Ali Umar, Iwantono Iwantono, Ariyanto Abdullah, Muhamad Mat Salleh and Munetaka Oyama, "Gold nanonetwork film on the ITO surface exhibiting one-dimensional optical properties", *Nanoscale Research Letters*, Springer, 2012, pp. 252- 260.
5. Grynko, D. A., A. N. Fedoryak, P. S. Smertenko, O. P. Dimitriev, N. A. Ogurtsov and A. A. Pud, "Hybrid solar cell on a carbon fiber", *Nanoscale Research Letters*, Springer, 2016, pp. 265-273.
6. Maslov V.P., Dorozinsky G.V., Dorozinska H.V. Promising method for determining the concentration of nano-sized diamond powders in water suspensions // *Functional Materials Journal (FMJ)*, Vol. 25, Issue 1, (2018), 158-164.
7. Maslov V.P., Ushenin Yu.V., Dorozinsky G.V., Dorozinska H.V., Kudryavtsev A.A. New method for determining the angular position of the light reflection intensity minimum observed in surface plasmon resonance. // *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, Vol. 3 Issue 3, (2017), 1514-1518.
8. V.I.Chegel, Yu.M. Shirshov, S.O.Kostyukevich et al., Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 4, 4 (2001), p. 301–306.
9. Maslov V.P., Kachur N.V., Dorozinsky G.V. Investigation of Sensors Based on ITO Nanofilms in SPR-Devices. // *American Journal of Optics and Photonics*, Vol.4, № 3 (2016) 20-24.

DESIGN OF A MICROHEATER FOR GAS SENSORS**Nahirniak S.V.¹, Dontsova T.A.²**

¹ORCID 0000-0001-5252-8737, assistant at the Department of Inorganic Substances, Water Purification and General Chemical Technology, nagirnyak_sv@ukr.net

²ORCID 0000-0001-8189-8665, Associate Professor at the Department of Inorganic Substances, Water Purification and General Chemical Technology, dontsova@ua.fm

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
37/4, Peremogy Avenue, Kyiv, 03056, Ukraine

Micro-heater devices are the key components in the gas sensors which are widely used nowadays for detection of dangerous and harmful gases in the atmosphere [1]. The power consuming and temperature uniformity are directly depend on material and geometry of heating element, thus the thorough design of the heater geometry is required to create the high-performance gas sensor device [2]. Physical characteristics and good adhesion to the substrate are considering for choosing of material. Most often platinum is used as the material for heating elements due to the number of its properties. Pt characterized by high resistance to oxidation, stability of temperature coefficient of resistance, linearity, good chemical and thermal durability, capability to operate at high temperatures without any change in work function [3]. But recently researchers more interested in creation of low-temperature gas sensors, thus for this purpose it is possible to use other metals which are suitable for design of micro-heaters with lower operating temperatures.

In this work, nickel was chosen as material of heating element taking in account his electrical properties, inactivity, low cost and good adhesion to substrate. The aim of this work is to study the effect of geometry on operating temperature of nickel heaters.

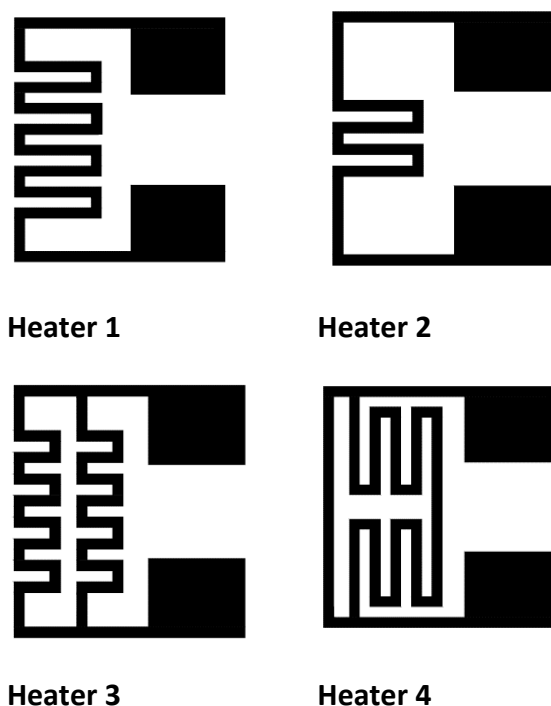


Fig.1 – Geometry of microheaters.

Figure 1 shows the geometries of designed heaters. Heater 1 and Heater 2 have the meander geometry, while the design of Heater 3 and Heater 4 is presented by the combination of meander and parallel geometries. Physical vapor deposition technique combined with the lift off process were used for formation of heater layer on substrate. For better thermal and electrical isolation purposes oxidized silicon wafer was used as substrate upon which heater of certain design was

deposited. To provide good metal stickiness and obtain uniform metal layer wafer was cleaned in several stages with acetone, methanol and distilled water [4]. As a result of the deposition, the heating elements (black lines, Fig.1) with 300 μm width and 400 μm thickness were produced.

The performance of obtained heaters with various shapes was evaluated by experimental measurements. Figure 2 shows the dependences of the temperature of heating elements on the applied voltage ranging from 5 to 35 V. As can be seen, the operating temperature of microheaters is directly depends on their geometry. The presented results show that the combination of the parallel and meander shapes (Heater 3 and Heater 4) allows to obtain higher temperatures at the same values of applied voltage compare to other heater geometries. It was found that the Heater 4 designed in the combination of the parallel and meander shapes allows to obtain 1.5 higher temperature values compare to the Heater 1 which is presented by meander geometry. Therefore, it was shown that correct design of heater geometry is very important aspect for creation of highly efficient gas sensors.

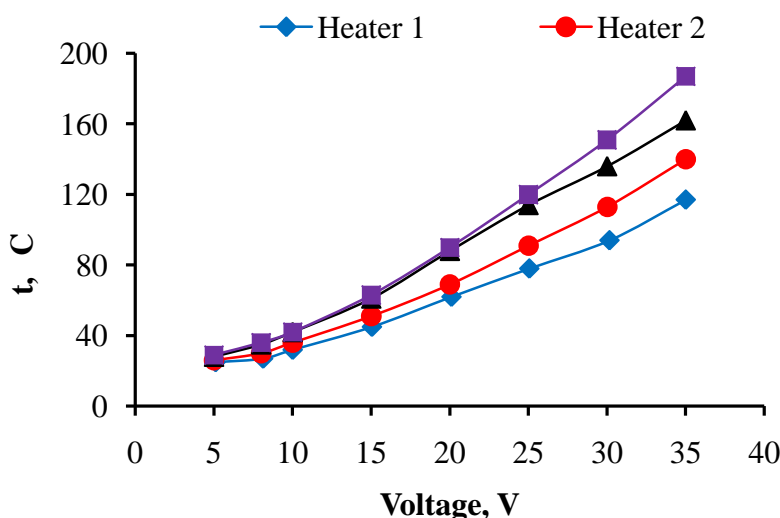


Fig.2 – Temperature vs applied voltage for different heater geometries.

Souhir et. al [5] also found that the maximal temperature and power consumption of heating element can be changed by variation of heater thickness. As well as decreasing of the inter track width strongly effects the temperature homogeneity. Therefore, in prospective works the geometries of Nickel micro heaters with various thickness and inter track width will be designed with purpose to enhancement performance of semiconducting gas sensors.

References:

1. Nagirnyak S., Dontsova T. (2017). Gas sensor device creation // IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2017) – 2017. – P.1. – 333-336.
2. Sidek O., Ishak M.Z., Khalid M.A., Abu Bakar M.Z., Miskam M.A.. Effect of heater geometry on the high temperature distribution on a MEMS micro- hotplate // 3rd Asia Symposium (ASQED) – 2011. – P. 100-105.
3. Chung G.S., Jeong J.M. Fabrication of micro heaters on polycrystalline 3C-SiC suspended membranes for gas sensors and their characteristics // Microelectronic Engineering. – 2010. – Vol. 87. – 2348-2352.
4. Kern W. The evolution of silicon wafer cleaning technology // Journal of Electrochemical Society. – 1990. – 137 No. 6. – 1887.
5. Souhir B., Sami G., Hekmet C.S., Abdennaucour K. Design, simulation, and optimization of a meander hotplate for gas sensors // Transaction on electrical and electronic materials. – 2016. – Vol. 17, No. 4. – 189-195.

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASUREMENT SYSTEM SIMULATION**Vasylenko O.V.¹, Snizhnoi G.V.²**¹Ph.D., docent, ZNTU, ORCID: 0000-0001-6535-3462, traven03@yahoo.com²Ph.D., docent, ZNTU, ORCID: 0000-0003-1452-0544, snow@zntu.edu.ua

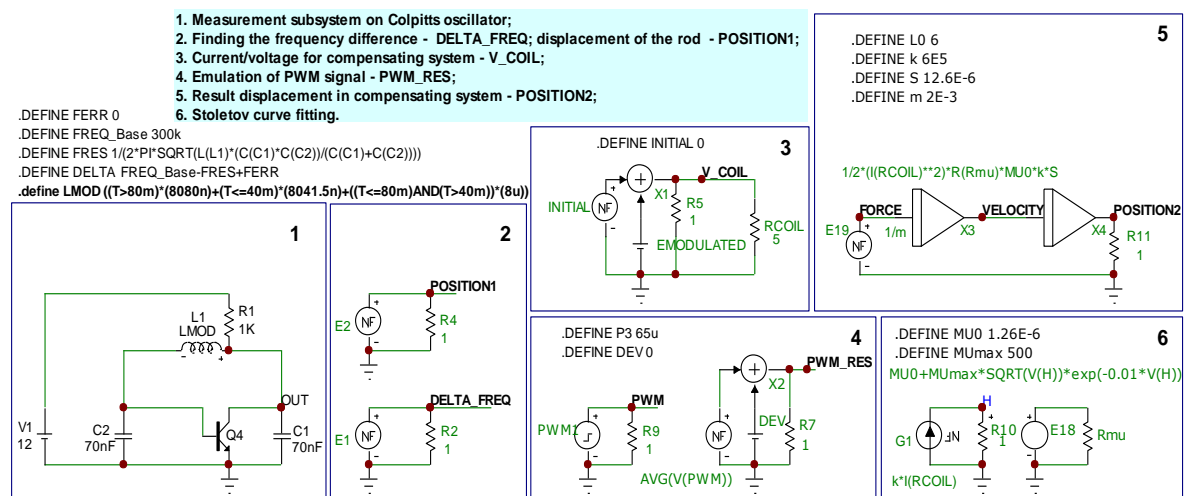
Annotation: For the study of magnetic properties of materials an automated measuring system has been developed. Simulation of its elements allowed to optimize its parameters. the developed model meets the criteria of adequacy and efficiency. New subsystem's models can be used for research other ACS.

Key words: magnetic susceptibility, measuring system, model, simulation, efficiency, ACS

For measure of magnetic susceptibility, which has a high informative value when conducting research on the structural state of new materials, magnetometric scales with the registration of the zero position on the basis of determining the frequency change of LC generator are used [1]. Control in such Automated System for magnetic susceptibility measuring is carried out by microprocessor. During the design of this system, the simulation was done, which allowed automating and increasing the accuracy during measurement of magnetic susceptibility.

Model of elements and subsystems of different levels of abstraction has been developed [2] (on the fig.1 respectively: measurement subsystem – 1, subsystems for finding the frequency difference and displacement of the rod – 2, generator for compensating system – 3, emulation of PWM signal – 4, compensating subsystem – 5, subsystem for Stoletov curve fitting – 6).

Analysis of static and dynamic characteristics in the Micro-Cap 11 has been conducted. The resulting model is dynamic, nonlinear, quasi-causal. At the stage of its simulation, behavioral elements, adapted for modern algorithm Spice 3G, has been widely used [2].



The purpose of the simulation is to determine the quality of the system (stability, dynamic characteristics, sensitivity) and choose the directions of its parametric (structural) optimization. New approach, chosen for measurement system modeling lies within the multidomain modeling paradigm, which allows us to investigate a wider spectrum of characteristics of nonlinear dynamic systems. The developed model meets the criteria of adequacy and efficiency and open for editing.

References:

1. Сніжної, Г.В. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості / Г.В. Сніжної, Є.Л. Жавжаров // Зб. Наук. праць "Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Радіотехніка. Радіоапаратобудування". – 2012. – №49. – С.136-141.

УДК 681.32: 007

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПЛЕОПТИЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО АУТОТРЕНІНГУ

Верьовкін Л. Л.¹, Світанько М. В.², Суслов О. В.³

¹ORCID: 0000-0003-1858-2128, ЗДІА, професор, verlen@rambler.ru,

²ORCID: 0000-0002-9818-2636, ЗДІА, доцент, svitnik_1973@ukr.net,

³магістрант. ЗДІА,

Анотація: Метод, що реалізовується приладом називається динамічним аутотренінгом (ДА). У його основу покладена умовно-рефлекторна технологія, що дозволяє відновити контроль з боку нервової системи за процесами, що протікають в зоровому аналізаторі. Мета методу полягає в корекції діяльності центральних механізмів мозку, відповідальних за регуляцію функцій зору.

Key words: амбліопія, послідовний образ, світловий потік, плеоптика, спіраль архімеда, сканування, оптотип, сектор

Annotation: Method which will be realized by a device named the dynamic auto-training. Reflex technology is fixed in his basis de bene esse, that allows to pick up thread control from the side of the nervous system after processes which flow in a visual analyzer. The purpose of method consists in the correction of activity of central mechanisms of brain, accountable for adjusting of function of sight.

Key words: amblyopia, successive appearance, light stream, pleoptic, spiral of archimedes, scan-out, optotype, sector

Зображення на сітківці навіть в нормі не буває сповна якісним. Але мозок володіє цілим набором рефлекторних механізмів, за допомогою яких зображення коректується, саме тому ми бачимо об'єкти виразно. Актуальність вживання методу ДА полягає у активнішому включенні природних механізмів мозку в процес відновлення зображення, що підсилює здатність мозку відновлювати зоровий образ.

При амбліопії нейрони мозку, анатомічно і функціонально пов'язані з амбліопічним оком, знаходяться під вираженим гальмівним впливом нейронів, пов'язаних з домінуючим оком. При цьому спостерігається звуження рецептивних полів нейронів амбліопічного ока, що наводить до різкого скорочення зони їх сумації. Наслідком цього є втрата мозком контролю за амбліопічним оком, що супроводжується ще більшим ослабінням зорової функції і прогресом косоокості (дисбіокулярна і рефракційна амбліопія). Тому для відновлення зорової функції при амбліопії застосовують дії, направлені на активацію нейронів зорового аналізатора, пов'язаних з амбліопічним оком.

Найбільш ефективне лікування амбліопії, коли пацієнт свідомо намагається ідентифікувати послідовний образ. При цьому включаються резервні механізми в корі і підкірці головного мозку, які знімають процеси гальмування в амбліопічному оці [1].

Завданням розробленого автоматизованого методу ДА є підвищення гостроти зору амбліопічного ока до рівня 0,3 - 0,4 Visus, для можливості злиття зображень при біфіксації, що необхідне для проведення заходів щодо діагностики і лікування косоокості [2].

Дослідження Д. Хьюбела, підтверджені В, А, Розенбергом, виявили наступне - світло, будучи подразником рецепторів сітківки і нейронів, що реагують на дифузне світло, не може розглядатися, як адекватний подразник зорової системи в цілому. Таким подразником може бути світловий потік, сформований в зображення, що містить зорову інформацію, збуджуючу детекторні елементи, викликає у відповідь реакцію у вигляді зорового образу.

Саме такий фігурний подразник і слід застосовувати як стимулюючий об'єкт при плеоптичному лікуванні амбліопії.

У основу методу ДА покладено роздратування сітківки, шляхом спостереження світлового поля через сканування його отворами розташованими на непрозорому диску по спіралі Архімеда [3]. Рівномірне сканування об'єкту досягається тим, що всі отвори на диску рухаються з однаковою кутовою швидкістю, проходячі різні відстані на своїх колах за один і той же проміжок часу [2]. Крім того області сканування освітленого сектора отворами з постійною лінійною швидкістю зміщуються до центру диска. При цьому кожна область сканування тест-об'єкту запам'ятовується зоровим аналізатором і дає можливість злити зображення в єдине ціле. Здатність злити зоровим аналізатором проміжні фрагменти тест-об'єкту, видимі через отвори в непрозорому диску, в безперервне зображення, близька до здатності зберігати послідовний образ, оскільки в основі обох феноменів знаходиться ефект інертності зорового сприйняття.

Прилад для динамічного аутотренінгу забезпечує управління швидкістю обертання диска з отворами, програмне перемикання позиції оптотипів, що пред'являються, зміну яскравості і кольору підсвічування оптотипів, візуальний контроль виконання програми.

Виконується сканування восьми секторів, кожен з яких підсвічується одним з трьох світлодіодів білого, червоного або зеленого кольору свічення. Мікроконтролер призначений для управління процесом функціонування пристрою (рис. 1)..

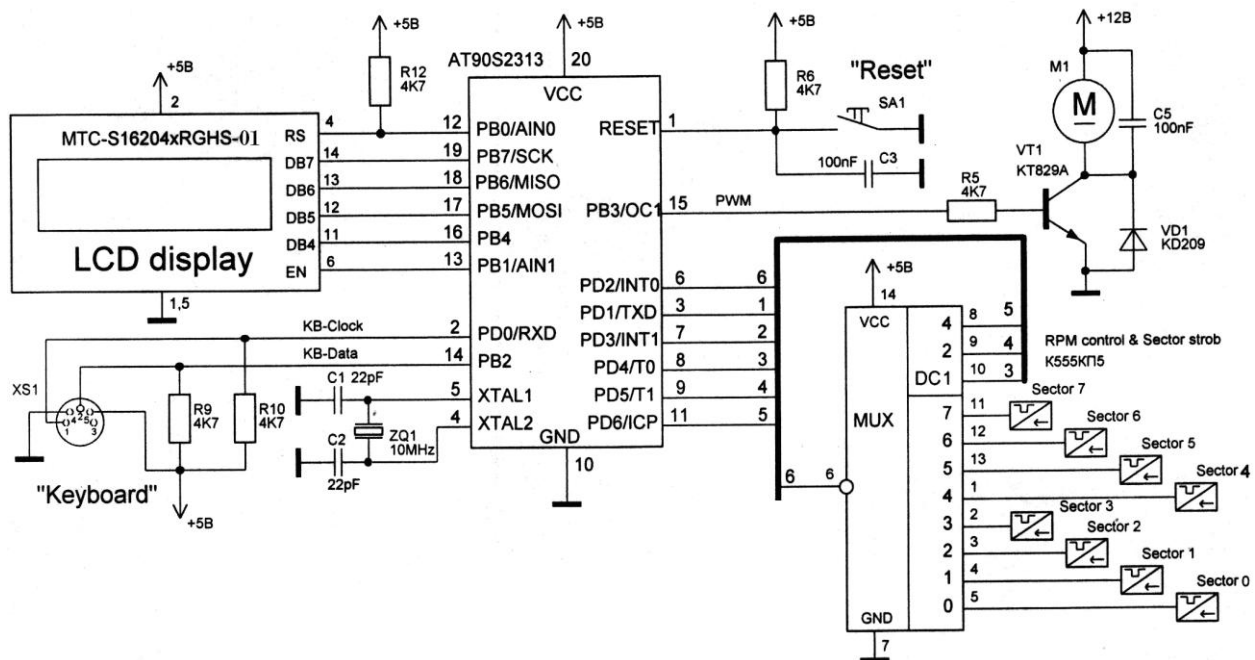


Рис. 1 - Схема електрична принципова плеоптичного приладу

Рідкокристалічний індикатор відображує інформацію про режими програмного забезпечення в текстовому форматі, що зручно при виконанні лікувальних заходів. Схема синхронізації формує сигнал і передає його на відповідний вхід мультиплектора при проходженні синхронізуючим отвором диска, що обертається того сектора, адресний код якого заданий мікроконтролером. Цей код передається і на дешифратор, який вибирає групу світлодіодів, що підключаються, в секторі.

Запропонований метод динамічного аутотренінгу, для здобуття вторинного зорового образу при спостереженні оптотипу через скануючі його отвори, для пацієнтів молодшого віку набагато ефективний, ніж утримання послідовного образу існуючими методами.

Вживання запропонованої методики і розробленого приладу плеоптичного відновлення бінокулярного зору дозволяє в десятиденний термін лікування підвищити гостроту зору

пацієнтів з 0,3-0,4 Visus до 0,8-0,9 Visus (по стандартній методиці засвітлення на великому безрефлексном офтальмоскопі до 0,65 – 0,8 Visus).

Література

1. Аветисов Э.С. Руководство по детской офтальмологии [Текст] / Аветисов Э.С., Ковалевкий Е.Н., Хватова А.В. - М.: Медицина, - 1987. - 496 с.
2. Плеоптическое устройство для восстановления зрения амблиопического глаза [Текст] / [Л.Л. Веревкин, Е.Я. Швець, Н.В. Свитанько А.В.Юдачов] // Электроника и связь. – 2009. – №2-3. – С. 181–184.
3. Декларацийний патент на корисну модель 6122 Україна, МПК А61F9/00. Апарат для лікування амбліопії „Плеофор”. / Поправка О.М., Верьовкін Л.Л., Швець Є.Я., Червоний І.Ф., Сидоренко М.Г., Посунько О.П., Багаєв Р.А. - №20040907958. - Патент опубліковано 15.04.2005, Бюл. №4.

УДК 620.179.148

СКАНУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ НЕОХОЛОДЖУВАНИХ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМ

Гончарова В.С., Левінзон Д.І.*

* проф., д.т.н., Запорізька державна інженерна академія

Розробка скануючого пристрою неохолоджуваних тепловізійних систем є перспективним напрямком для проведення більш якісного неруйнівного контролю, пошук несправності електромереж та інші випадки, коли по неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан контрольованих об'єктів [1].

При розробці та дослідженні приладу необхідно в першу чергу врахувати певні особливості інфрачервоного випромінювання. Інфрачервоне випромінювання ослабляється при проходженні через атмосферу внаслідок поглинання молекулами газу, аерозолями, опадами, а також димом, туманом, смогом і т.п. Враховуючи цей фактор, можна визначити положення двох вікон прозорості: 3,5-5 мкм і 8-14 мкм. Довгохвильовий діапазон характерний для неохолоджуваних тепловізійних систем [2].

Досліджуваний скануючий пристрій складається з оптичної системи, блоку передавальної телевізійної трубки, блоку кадрової і рядкової розгортки передавальної трубки, попереднього підсилювача відеосигналу, відеотракту, генератора гасячих і синхронізуючих імпульсів, блоку приймальної телевізійної трубки блоку кадрової і рядкової розгортки приймальної трубки, блоку синхронізації.

В передавальній камері тепловізора з електронним скануванням зображення проектується за допомогою оптичної системи на мішень телевізійної передавальної трубки, яка є чутливою до довгохвильового інфрачервоного випромінювання та перетворює електронне зображення у відеосигнал. В якості передавальної телевізійної трубки застосовується піровидикон, вихідний сигнал якого являє собою змінне за часом напругу на навантаженні, що після підсилення подається на керуючий електрод електронно-променевої трубки. Так як мішень більш чутлива до температурних ефектів, ніж до квантових, вона сприйнятлива до випромінювання будь-якої довжини хвилі, яке пропускається вхідною оптичною системою і проектується на мішень. При цьому охолодження мішені не потрібно, що є головною перевагою пірікона. Для розгортки зображення на відхиляючу систему трубки подаються напруги пилоподібної форми, що виробляються блоком розгортки. Узгодження в часі руху електронного променя по екрану приймальної трубки з рухом променя по мішені передавальної трубки здійснюється за допомогою синхронізуючих імпульсів. Синхронізовані імпульси формуються на передавальній частині телевізійної системи та заміщуються в відеосигнал. Відеосигнал, що складається з сигналу зображення гасячих і синхронізуючих імпульсів, надходять на приймальну телевізійну трубку, змінюючи

яскравість світіння екрану. Для отримання зображення електронний промінь приймальної трубки переміщується по площині екрану під впливом напружень пилоподібної форми рядкової і кадрової частот, що виробляються блоком розгортки. Одночасно з подачею на приймальну трубку телевізійний сигнал надходить на блок синхронізації, де синхронізовані імпульси виділяються з нього, поділяються на малі і кадрові і надходять на відповідні генератори блоку розгортки приймальної трубки.

Дослідження основних параметрів та принцип роботи оптичної системи, генератора гасячих і синхронізуючих імпульсів та блоку кадрової і рядкової розгортки приймальної трубки дозволяє покращити якість отриманої термограми.

Даний пристрій можна використовувати як в побуті, так і в промисловості

Література

1. Джемисон Дж. Э. Физика и техника инфракрасного излучения/Дж. Э. Джемисон. – М.: Сов. радио, 1965. – 342 с.
2. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов/Якушенков Ю.Г.– М.: ЛОГОС, 1999. – 284 с.

УДК 621.315

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИЛАД КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Ніконова А.О. *, Негрієнко К.Ю.

* доц., к.т.н., ORCID ID 0000-0002-5714-7543, nk_alina@ukr.net, Запорізька державна інженерна академія

Анотація: Розробка мікроелектронних приладів, які відрізняються високою чутливістю та точністю з енергозберігаючою системою живлення є важливим технічним завданням сучасності.

Ключові слова: Мікроелектронні прилади, чутливість, енергозберігаюча система живлення

Annotation: The development of microelectronic devices that are high sensitivity and precision with an energy-saving power supply system is an important technical task of the present.

Key words: Microelectronic devices, sensitivity, energy-saving power supply system

Для біологічного організму найбільш небезпечним типом радіоактивного випромінювання вважаються гамма кванти, за рахунок високої проникаючої здатності, а потім у напрямку зменшення, бета-частинки і альфа-частинки. Визначити альфа-частинки досить важко, якщо сказати неможливо звичайним лічильником Гейгера - Мюллера, так як для них є перешкодою практично будь-який об'єкт, не кажучи вже про скляному або металевому контейнері. Визначити бета-частинки таким лічильником можна, але лише в тому випадку, коли їх енергії досить для проходження через матеріал контейнера лічильника.

Зворотна ситуація з гамма-випромінюванням, є ймовірність, що вони наскрізь пройдуть через контейнер, не запустивши реакцію іонізації. Для цього в лічильниках встановлюють спеціальний екран (з щільної сталі або свинцю), який дозволяє знизити енергію гамма-квантів і активувати, таким чином, розряд в камері лічильника.

Газорозрядних лічильника Гейгера-Мюллера, як правило, виконується у вигляді герметичної трубки, скляної або металевої, з якої відкачане повітря, а замість нього додано інертний газ (неон або аргон або їх суміш) під невеликим тиском, з домішкою галогенів або спирту. По осі трубки натягнуто тонкий дріт, а коаксиально з ним розташовано металевий циліндр. І трубка і дріт є електродами: трубка - катод, а дріт – анод[1].

До катода підключають мінус від джерела постійної напруги, а до анода - через великий постійний опір - плюс від джерела постійної напруги. Виходить електричний

дільник напруги, в середній точці якого (місце з'єднання опору і анода лічильника) напруга практично дорівнює напрузі на джерелі. Зазвичай це кілька сотень вольт.

Оскільки на виході датчика іонізуючого випромінювання присутня висока напруга, то для приведення його до необхідного для подальшої обробки рівню, необхідний дільник напруги, з якого і знімається корисний сигнал. Пристрій для формування імпульсів призначений для формування імпульсів відповідної форми і тривалості, які згодом підраховуються за певний період часу. Лічильник забезпечує підрахунок імпульсів, що прийшли з датчика іонізуючого випромінювання, перерахунок їх кількості в рівень радіоактивного випромінювання, а також індикацію результатів вимірювання і вибір режиму вимірювання. Живлення схеми здійснюється від малопотужного стабілізованого блоку на виході якого постійна напруга. У даній блок-схемі використовуються два датчика іонізуючого випромінювання для усереднення результатів вимірювання і отримання більш точних значень.

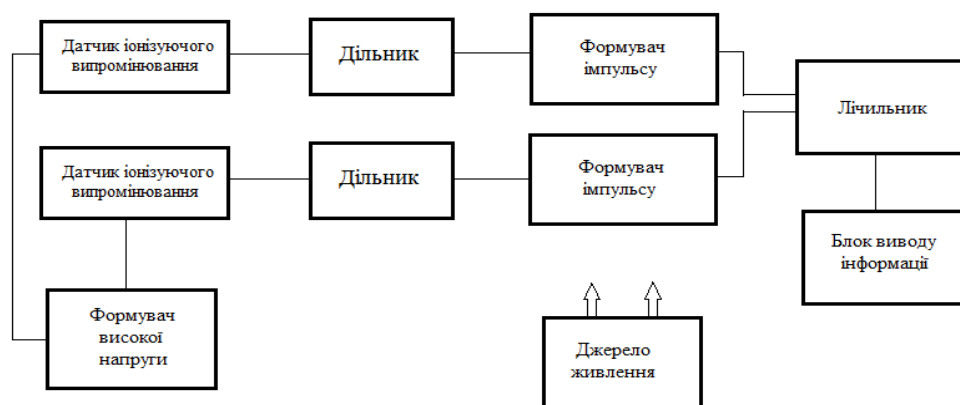


Рисунок 1 - Мікроелектронний прилад контролю інтенсивності іонізуючого випромінювання

Література:

1. Тарасенко Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения [Текст]. - М: Техносфера, 2013. — 264 с

УДК 621.38

ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА АБСОЛЮТНОГО ЕНКОДЕРА

Ніконова А.О. *, Пругло О.О.

* доц., к.т.н., ORCID ID 0000-0002-5714-7543, nk_alina@ukr.net, Запорізька державна інженерна академія

Анотація: Перетворювачі кутових переміщень широко застосовуються у всіх галузях промисловості і є невід'ємною частиною систем автоматизації виробничих процесів. Особливий економічний ефект від використання енкодерів дає застосування регульованого механізму з заданою точністю, що призводить до підвищення якості продукції та енергозбереження.

Ключові слова: Перетворювачі кутових переміщень, енкодер, енергозбереження, якість

Annotation: Angular displacement converters are widely used in all industries and are an integral part of automation systems for production processes. A special economic effect from the use of encoders provides the use of an adjustable mechanism with a given accuracy, which leads to improved product quality and energy conservation

Key words: Angular displacement converters, encoder, energy conservation, quality

Енкодер – прилад, який дозволяє перетворювати кут обертання валу (або іншого об'єкта) в електричний сигнал, який дозволяє визначити кут повороту. Перетворювачі кутових переміщень широко застосовуються у всіх галузях промисловості (пакувальна, харчова, друкарська, текстильна, деревообробна і металообробна промисловості, системи телекомунікації, верстати, ліфти і тд.), і є невід'ємною частиною систем автоматизації виробничих процесів.

Особливий економічний ефект від використання енкодерів в автоматизованих системах дає застосування регульованого механізму з заданою точністю, що призводить до підвищення якості продукції; енергозбереження; збільшення обсягу продукції, що випускається і продуктивності виробничого обладнання; зниження зносу механічних ланок і збільшення терміну служби технологічного устаткування внаслідок поліпшення динаміки роботи обладнання.

Основна робоча характеристика абсолютних енкодерів – число кроків, тобто унікальних кодів на оберт і кількість таких обертів, при цьому не потрібно первинної установки і ініціалізації енкодера. Тому абсолютні енкодери не втрачають свою позицію при зникненні напруги.

В абсолютних енкодерах на обертовий диск нанесені непрозорі штрихові або магнітні кодові доріжки, розташовані відповідно з кодом Грея і двійковим паралельним кодом. Відповідно і вихідні сигнали - це код Грея і інтерфейси, через які здійснюється програмування енкодера. Код Грея краще звичайного двійкового коду тим, що має властивість безперервності бінарної комбінації: зміна кодованого числа на одиницю відповідає зміні кодової комбінації тільки в одному розряді.

Похибка при зчитуванні інформації з кодового диска при переході від одного числа до іншого призведе лише до того, що перехід від одного положення до іншого буде лише зміщений за часом, проте видача абсолютно невірного значення кутового положення повністю виключається.

Абсолютний енкодер формує сигнал як під час обертання, так і в режимі спокою. Диск абсолютного енкодера має кілька концентричних доріжок. Кожною доріжкою формується унікальний двійковий код для конкретної позиції валу. Абсолютний енкодер не втрачає свого значення при відключенні живлення і не вимагає повернення в початкову позицію. Сигнал абсолютного енкодера не схильний до перешкод і для нього не потрібна точна установка валу. Крім того, навіть якщо кодований сигнал не може бути прочитаний енкодером, якщо, наприклад, вал обертається надто швидко, правильний кут обертання буде зареєстрований, коли швидкість обертання зменшиться. Абсолютний енкодер стійкий до вібрацій. [1].

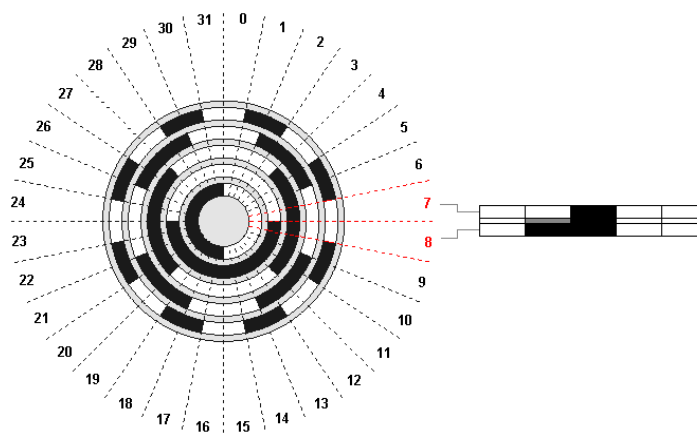


Рисунок 1— Кодовий диск абсолютного енкодера

Вимірювальна система абсолютного енкодера складається з поворотної осі, змонтованої на двох високо прецизійних підшипниках, кодового диску, встановленого на осі, а також оптоелектронної матриці, що зчитує інформацію і схеми обробки сигналу. Як

джерело світла служить світлодіод, інфрачервоні промені якого просвічують кодовий диск і потрапляють на фото-транзисторну матрицю, розташовану зі зворотнього боку кодового диска. При кожному кроці кутового положення кодового диска темні ділянки коду запобігають потраплянню світла на ті чи інші фототранзистори матриці. Таким чином, темні та світлі ділянки кожної з доріжок будуть відображені на фототранзисторній матриці і перетворені в електричні сигнали.

Література:

1. Порфирьев Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах. [Текст] – Л.: Машиностроение, 1999. - 387 с.

УДК 621.3

НАНОДИОД ШОТТКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

Симченко С.В.¹, Стыров В.В.²

¹Центр детско-юношеского творчества им. Е.М. Рудневой, г. Бердянск

Руководитель отдела радиоэлектроники, кандидат физико-математических наук.
sstehology85@gmail.com

²Физико-математическая школа «Университет», г. Мариуполь, доктор физико-математических наук.v2styrov@gmail.com.

Аннотация: Показано, что метод нанодиода Шоттки является эффективным способом «визуализации» поверхностных реакций может быть использован как новый физический метод в исследовании атомно-молекулярных и электронных процессов на поверхности твердых тел. Изучена кинетика хемотока, возбуждаемого в реакции рекомбинации на поверхности нанодиода Pd(15нм)/n-Si атомарных частиц (H+H, O+O, H+O), а также в реакции молекул (H₂+O₂), поступающих из газовой фазы. Для некоторых систем определена эффективность поступления хемозлектронов во внешнюю цепь в расчёте на один акт взаимодействия (или на образующуюся молекулу продукта).

Ключевые слова: нанодиод Шоттки, сенсор атомов и молекул в газах, прямое преобразование химической энергии в электрическую.

Возбуждение электронной подсистемы твёрдого тела в ходе гетерогенной химической реакции за счет освобождающейся химической энергии имеет перспективы широкого применения в нанотехнологиях (химические сенсоры, устройства спинтроники, минигенераторы электрического тока), а также в разработке новых приборов микроэлектроники и микромеханики. Несмотря на значительную работу, проделанную в лабораториях США, Германии, Южной Кореи, Украины по данной тематике, остаётся актуальным дальнейшее изучение электрофизических эффектов, возникающих в структурах с плёнками металлов нанометровой толщины, например в диодах Шоттки [1-2]. Один из этих эффектов состоит в возникновении электрических токов в подобных структурах (хемоток). Величины хемотоков пропорциональны скорости поверхностной химической реакции. Поэтому такие структуры могут с успехом использоваться в качестве инструмента исследования и мониторинга химических реакций на поверхности твёрдых тел, а также в перспективе для прямого преобразования химической энергии в электрическую [3].

Исследованные нами образцы нанодиодов Шоттки (Pd(15нм)/n-Si) имели «рабочую» площадь поверхности ~1см². Толщина полупроводника для всех образцов составляла 500-300 мкм. С тыльной стороны образцы снабжены омическими контактами.

Хемоток в упомянутых выше нанодиодах Шоттки способен безынерционно в реальном времени отслеживать скорость гетерогенной реакции на поверхности металла-катализатора.

Это позволяет следить за быстропротекающими поверхностными химическими реакциями, в том числе за колебательными реакциями [4].

В настоящей работе экспериментально исследован эффект генерации хемотока и токовые кинетики для реакций рекомбинации на поверхности палладия атомарных частиц ($H+H$, $O+O$, $H+O$), а также реакции молекул H_2+O_2 , поступающих из газовой фазы. Изучены температурные зависимости генерируемых токов. Для реакций $H+H$, $O+O$ и H_2+O_2 оценена эффективность генерации горячих электронов в расчёте на акт химической реакции, или на образовавшуюся молекулу продукта ($\chi\eta_e$). Здесь η_e – вероятность рождения электронно-дырочной пары в металле в химическом акте (адсорбция, ассоциация частиц в молекулу), χ – прозрачность барьера Шоттки для горячих электронов, генерируемых в реакции.

На рис. приведена кинетика генерируемого в образце хемотока в результате адсорбции и рекомбинации на его поверхности атомов водорода. Пик хемотока при первом напуске атомов H на «чистую» поверхность имеет адсорбционную природу. Дальнейшая генерация хемотоков обусловлена одновременно как актами адсорбции, так и актами собственно ассоциации атомов H в молекулу. В интервале времени 67-74 с атомы в газовой фазе «выключались» («пауза»). Как видно из рис., в стационарном состоянии, устанавливаемом в течение ~ 50 с, ток меньше пикового значения примерно в 2 раза. Из рис. видно также, что за время «паузы» происходит частичная десорбция атомов H (адсорбционный пик после «паузы» меньше по интенсивности первоначального).

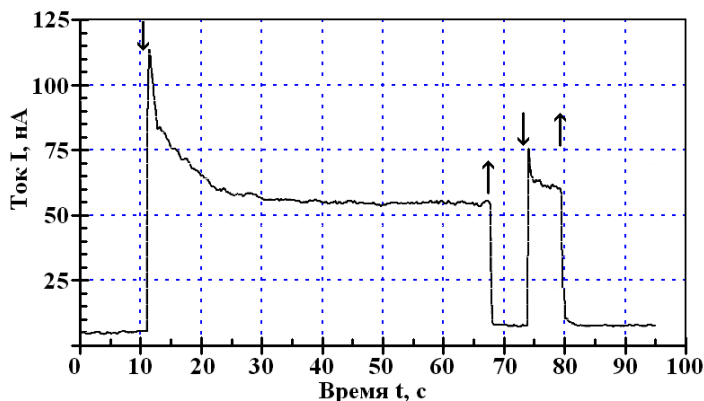


Рис. Хемоток короткого замыкания при напуске атомарного водорода при температуре образца $T=310K$ и потоке атомов $j \approx 10^{22} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Стрелками указаны моменты включения и выключения атомов.

Вероятность поступления ($\chi\eta_e$) во внешнюю цепь горячих электронов, регистрируемых по хемотоку, зависит от природы реагирующих частиц и условий эксперимента и изменяется в широких пределах. В наших опытах для системы H_2+O_2 $\chi\eta_e \sim 2,4 \cdot 10^{-2}$, для $H+H \sim 7,1 \cdot 10^{-6}$, для $O+O \sim 6,7 \cdot 10^{-6}$.

В случае реакции атомов $H+H$ установлено, что за генерацию хемотоков в исследуемом диоде Шоттки ответственны как акты адсорбции, так и акты ассоциации атомарных частиц на поверхности.

Из приведенных результатов ясно, что диод Шоттки является сенсором концентрации химически активных частиц в газовой фазе и на поверхности, а также инструментом исследования скорости химических реакций на поверхности твердотельных структур.

Литература:

1. Electron-Hole Pair Creation at Ag and Cu Surfaces by Adsorption of Atomic Hydrogen and Deuterium / H. Nienhaus, H.S. Bergh, B. Gergen // Physical review letters. –1999. –Vol. 82 (2). –P. 446-449.

2. Метод хемотоков в диоде шоттки для исследования реакций на металлических катализаторах / Д. В. Гранкин // Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC – 2015», Москва, 2015. – Т. I. – часть 3. – С 102-105.

3. Внутренняя эмиссия горячих электронов на поверхности металла в реакционных атомных столкновениях: нанодиод Шоттки Pd/n-Si / В.В. Стыров, С.В. Симченко //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2012. – №11. – С.1–6.

4. Окисление водорода на палладии: метод хемотоков в диоде Шоттки/Д.В. Гранкин, В.В. Стыров, С.В. Симченко, В.П. Гранкин, О.А. Гуральник//Журнал физической химии. - 2017. Т.91, №2. с. 297-303.

**МАТЕРІАЛИ ПЕРШОЇ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ЕЛЕМЕНТИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ
(ЕПСЕТ-18)
ELEMENTS, DEVICES AND SYSTEMS
OF ELECTRONIC TECHNIQUE
(EDSET-2018)**

14 - 16 листопада 2018 р.

Підписано до друку 09.11.2018 р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 7,1. Накад 300 прим.
Видавничий договір №12м/18

Запорізька державна інженерна академія
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК №2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з компютерного оригінал-макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226,
ЗДІА,
тел. (061) 227-12-29