

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні  
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного  
забезпечення

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший бакалаврський \_\_\_\_\_  
(другий магістерський рівень)

на тему Розробка пристрою для дослідження впливу відпалу на якість  
МДН – структур.

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи 6.1530-с

Рицар О. О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Напряму підготовки \_\_\_\_\_  
(шифр)

Спеціальності 153

Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Керівник доцент, доцент, к.т.н.

Ніконова З. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя - 2023 рік

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні**

Рівень вищої освіти перший бакалаврський  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)  
Напрямок підготовки 153  
(шифр)  
Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ЕІСПЗ  
Критська Т.В.

“ 15 ” червня 20 23 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Рицар Олександр Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка пристрою для дослідження впливу відпалу на якість МДН – структур

керівник проекту (роботи) Ніконова Зоя Андрійовна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом вищого навчального закладу від “29” грудня 2023 року №1893-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Використання технології відпалу напівпровідникових структур, вимір параметрів пластин чотирьохзондовим сето-дом.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Дослідження технологічних особливостей виготовлення МДН-структур Розробка автоматизованої системи управління режимами відпалу та контролю якості МДН структур. Техніко-економічне обґрунтування. Охорона праці та техногенна безпека

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Імітація роботи компаратора напруги в програмному забезпеченні Electronics Workbench. Схема електрична принципова пристрою. Розводка струмопровідних доріжок печатної плати. Пристрій для параметричного тестування сонячних елементів.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Ніконова З. А., доцент</i>	
<i>II</i>	<i>Ніконова З. А., доцент</i>	
<i>III</i>	<i>Ніконова З. А., доцент</i>	

7. Дата видачі завдання 30.12.2022 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
<i>1</i>	<i>Дослідження математичного апарату технологічного моделювання інтегрованих елементів мікрота наносистем виміру електричних характеристик сонячних елементів</i>	<i>18.02.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Дослідження технологічного процесу виробництва МДН структур</i>	<i>10.03.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Дослідження виникнення дефектів при іонній імплантації</i>	<i>18.03.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Розробка автоматизованої системи управління відпадом МДН структур</i>	<i>14.04.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Розробка схеми контролю якості МДН структур після відпаду</i>	<i>27.04.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>18.05.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>02.06.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи</i>	<i>15.06.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Оприлюднений захист магістерської роботи</i>	<i>21.06.2023</i>	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Рицар О. О.*

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Ніконова З. А.*

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

\_\_\_\_\_ ( підпис )

*Верьовкін Л.Л.*

(прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломна робота містить 61 сторінку, 31 рисунок, 2 таблиці, 15 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – вплив відпалу на якість МДН – структур.

Мета роботи – розробка автоматизованої системи управління режимами відпалу та контролю якості МДН структур.

Задачі роботи – розробити автоматизовану систему управління режимами відпалу напівпровідникових структур; удосконалити методику контролю якості МДН структур після відпалу на схемотехнічному рівні.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень: Electronics Workbench 5.12, SPlan 5.0.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблена автоматизована мікроелектронна система управління режимами відпалу дозволяє точно контролювати температуру міні-печі, а також програмно регулювати технологічні параметри за допомогою ПЕОМ.

Результати впроваджень – макет електронного приладу контролю якості МДН структур пройшов випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для впровадження у навчальному процесі підготовки бакалаврів спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка».

СТРУКТУРА, ВІДПАЛ, ІОННА ІМПЛАНТАЦІЯ, ДЕФЕКТ, ТЕМПЕРАТУРА, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, МАНІПУЛЯТОР, СЕЛЕКТОР ІМПУЛЬСІВ, ЛІЧИЛЬНИК, ІНДИКАТОР

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, мікроелектронних систем та програмного забезпечення, з 30.12.2023 р. по 15.05.2023 р.

## Зміст

	Стор.
Вступ .....	6
1 Дослідження технологічних особливостей виготовлення МДН-структур .....	8
1.1 Математичний апарат технологічного моделювання інтегрованих елементів мікро- та наносистем .....	8
1.2 Метод легування пластини шляхом бомбардування іонами домішки .....	11
1.3 Технологічне обладнання методу іонної імплантації .....	13
1.4 Виникнення дефектів при іонній імплантації .....	16
1.5 Виготовлення елементів з МДН структурою .....	18
2 Розробка автоматизованої системи управління режимами відпалу та контролю якості МДН структур .....	25
2.1 Автоматизована система управління відпалом МДН структур .....	20
2.2 Розробка системи управління температурою нагрівача .....	28
2.2.1 Принцип функціонування термостабілізатора .....	28
2.2.2 Підсилювач напруги .....	29
2.2.3 Перетворювач напруга-частота .....	31
2.2.4 Селектор імпульсів .....	32
2.2.5 Лічильник імпульсів .....	36
2.3 Схема автоматизованої мікроелектронної системи управління режимами відпалу .....	39
2.4 Контроль якості МДН структур після відпалу .....	41
3 Охорона праці та техногенна безпека .....	46
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	46
3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	49

3.3 Виробнича санітарія .....	50
3.4 Електробезпека .....	52
3.5 Пожежна та техногенна безпека .....	53
3.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення .....	55
Висновки та рекомендації .....	59
Перелік посилань .....	60

## Вступ

В інтегральних мікросхемах і дискретних приладах мікроелектроніки, використовуються різні напівпровідникові структури, включаючи планарні структури діелектрик-напівпровідник, метал-діелектрик-напівпровідник.

Велика увага до структур метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) викликана їх широким застосуванням у інтегральній електроніці і перспективами у вирішенні багатьох прикладних задач мікроелектроніки. В зв'язку зі зменшенням розмірів конструктивних елементів і збільшення в інтегральних схемах кількості границь поділу між цими елементами стає очевидним, що значення поверхневих і граничних явищ в роботі напівпровідникових приладів і пристроїв росте і подальший прогрес мікроелектроніки пов'язаний з вивченням явищ, які протікають на поверхні напівпровідника, на границі поділу напівпровідник-діелектрик, напівпровідник-метал, метал-діелектрик.

Дослідження високолегованих шарів приладових структур на основі кремнію останнім часом стимулюється розвитком мікро - і нанотехнологій, загальною тенденцією до мікромініатюризації приладів і пристроїв електроніки, зменшенням товщини робочих структур, синтезом багатошарових і наноструктурованих композицій. Використання високоенергетичного випромінювання і термічних обробок в технології отримання кремнієвих приладових структур підвищеної якості вимагає все більшої уваги у зв'язку з потребами мікроелектроніки. Проблема легування напівпровідникових матеріалів відповідними добавками є ефективним засобом контролю зміни їх властивостей [1].

Іонна імплантація - це кероване введення домішкових атомів у поверхневий шар підкладки шляхом бомбардування її іонами з енергією від кількох кілоелектрон - вольт до декількох мегаелектрон - вольт (зазвичай від 20 до 100 кеВ). Процес іонного легування здійснюють для модифікації властивостей (у першу чергу електрофізичних ) поверхневого шару.

Основною перевагою методу іонної імплантації є те, що він дозволяє досить легко управляти формуванням електричних властивостей одержуваних напівпровідникових структур, не призводить до великих змін механічних властивостей підкладки і має хорошу повторюваність.

До недоліків можна віднести те, що в процесі іонної імплантації легуючих домішок в структурі формуються точкові дефекти кристалічної решітки, які в процесі відпалу перетворюються на дефекти упаковки. Це призводить до погіршення параметрів електронних виробів [2].

Актуальним являється є розробка пристроїв для дослідження впливу відпалу на якість МДН – структур виготовлених методом іонної імплантації з застосуванням двоступеневого відпалу для поліпшення якості структур.



## 1 Дослідження технологічних особливостей виготовлення МДН-структур

### 1.1 Математичний апарат технологічного моделювання інтегрованих елементів мікро- та наносистем

Одним з найбільш використовуваних методів вибіркового введення домішок в монокристал напівпровідника є методи дифузії і іонної імплантації, які дозволяють досягати високої точності розподілу домішки.

Метод дифузії полягає в тому, що домішка контактує з поверхнею монокристала напівпровідника. Потім монокристал розігрівається, унаслідок чого атоми домішки проникають всередину монокристала і заміщають атоми напівпровідника, "вбиті" зі своїх місць унаслідок теплової взаємодії [3].

Іонна імплантація є введенням в напівпровідникову підкладку заряджених атомних частинок, які мають певну енергію, з метою зміни електричних, металургійних і хімічних властивостей підкладки. Даний метод легування є альтернативним дифузії і зазвичай застосовується в тих випадках, коли бажана концентрація домішки має бути отримана менш ніж в 1 мкм від поверхні [3]. Слід розуміти, що іонна імплантація і дифузія не виключають одна одної, а доповнюють, оскільки перша дозволяє з великою точністю контролювати концентрацію домішок на відстанях  $\sim 0,05$  мкм від поверхні, а друга – на відстанях  $\sim 25$  мкм.

Процеси введення домішок в напівпровідникових кристалах описується двома законами Фіка.

Перший закон Фіка показує, що процес дифузії домішок в монокристалах напівпровідника, який має кубічну кристалічну решітку, носить ізотропний характер і записується у вигляді рівняння:

$$I = -D \nabla N \quad (1.1)$$

де  $I$  – щільність струму атомів домішки, вимірювана числом атомів, що проходять через одиничний майданчик за одиницю часу;  $D$  – коефіцієнт дифузії;  $\nabla$  – градієнтний оператор;  $N$  – концентрація атомів, що дифундують в одиниці об'єму.

Таким чином, перший закон Фіка свідчить, що щільність струму атомів домішки, які дифундують углиб монокристала напівпровідника, пропорційна градієнту концентрації. При цьому коефіцієнтом пропорційності є коефіцієнт дифузії, В практичних розрахунках параметрів дифузійних шарів зазвичай користуються одновимірними моделями. У цьому випадку перший закон Фіка набирає вигляду:

$$I = -D \frac{\partial N}{\partial x} \quad (1.2)$$

Другий закон Фіка характеризується швидкістю зміни концентрації домішки в часі. Закон свідчить, що швидкість зміни концентрації пропорційна другій похідній від цієї концентрації домішки по відстані і для одновимірного випадку записується таким чином:

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \quad (1.3)$$

Рівняння закону Фіка (1.3) є вельми зручним для розрахунку параметрів дифузійних шарів. Розв'язання цього рівняння за певних граничних умов дає вираження концентрації домішки як функції двох змінних – часу дифузії і відстані від поверхні пластин монокристала напівпровідника.

Особливу увагу слід приділити коефіцієнту дифузії  $D$ , який входить як коефіцієнт пропорційності в перше і друге рівняння Фіка.

Коефіцієнт дифузії пов'язаний з температурою процесу залежністю:

$$D(T) = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right), \quad (1.4)$$

де  $T$  – температура в Кельвінах;  $D_0$  і  $R$  постійні;  $\Delta E$  – енергія активації для дифузії домішки в кристалі, що являється величиною постійною для даного типу кристала і даної домішки.

Логарифмуючи (3.4), отримаємо:

$$\ln D(T) = \left( \frac{1}{T} \right) \left( - \frac{\Delta E}{R} \right) + \ln D_0 \quad (1.5)$$

Звідси видно, що залежність

$$\ln D(T) = f \left( \frac{1}{T} \right)$$

має лінійний характер з коефіцієнтом пропорційності:

$$- \frac{\Delta E}{R}.$$

Дана залежність представляє великий практичний інтерес, оскільки дозволяє легко визначити коефіцієнти дифузії для домішок, що дифундують по вакансіях, залежно від температури. Графіки вказаної залежності для найважливіших домішок в кремнії представлені на рисунку 1.1.

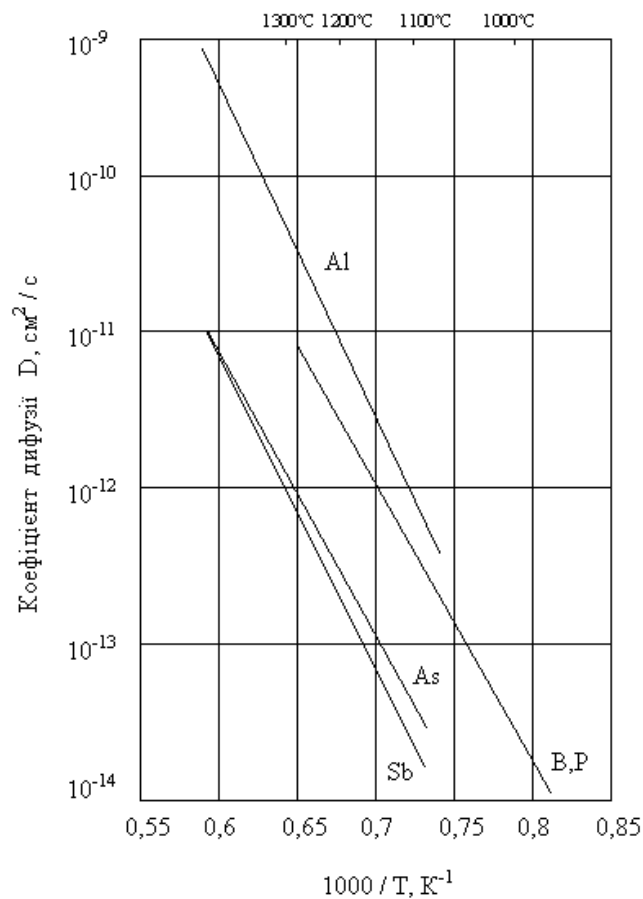


Рисунок 1.1 – Залежність коефіцієнта дифузії для домішок, які дифундують по вакансіях, від величини, зворотній температурі

## 1.2 Метод легування пластини шляхом бомбардування іонами домішки

Іонне впровадження застосовується в тих випадках, коли бажана концентрація домішки має бути отримана менш ніж в 1 мкм від поверхні. Процес включає іонізацію атомів домішки і їх прискорення до високих енергій в електричному полі. Іони домішки, які розганяють, налітають на вихідний матеріал (пластину кремнію), проникають в нього на декілька десятих мікрона і зупиняються.

У процесах іонного впровадження зазвичай використовують іони з енергією в діапазоні 10÷400 кеВ. Іонний пучок, який можна виміряти точно, лежить в діапазоні від 10 мкА до 2 мА. Кількість іонів на одиницю площі називається іонною дозою  $\Phi$ , яку варіюють зазвичай від  $10^{11}$  до  $10^{16}$  іон/см<sup>2</sup>. Іонна доза пов'язана із струмом пучка, площею його перетину і часом опромінення формулою:

$$\Phi = \frac{tI}{qA} \quad (1.6)$$

де  $t$  – час опромінення;  $I$  – струм пучка;  $q$  – заряд іона, для одновалентних іонів  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;  $A$  – площа перетину пучка.

При дослідженні процесу іонної імплантації слід звернути увагу на ефект каналування, який має місце при опроміненні монокристалічної мішені. Каналування прагнуть уникати, оскільки в цьому випадку розподіл домішки чутливий за багатьма чинникам і погано регулюється. Якщо ефект каналування зведений до мінімуму, то зіткнення між іонами домішки і ядрами атомів можна вважати майже випадковими. Через це остаточний розподіл упроваджених іонів майже нормальний – розподіл Гауса. Відомо, що розподіл Гауса характеризується математичним очікуванням, яке називається тут пробігом, і середньоквадратичним відхиленням, яке називається в даному випадку розкидом  $\Delta R_p$ .

Пробіг іона  $R$  - це довжина шляху, пройденого іоном в матеріалі мішені до зупинки. Через зіткнення іон рухається, строго кажучи, не по прямій. Оскільки ми має справу з одновимірним завданням, то нас цікавить довжина

проекції шляху іона на напрям падаючого пучка. Ця довжина і називається проекцією пробігу  $R_p$ . У більшості випадків напрям падіння пучка перпендикулярний поверхні пластини. Проекція пробігу в цьому випадку відповідає глибині, на яку проник упроваджений іон. Для великої кількості упроваджених іонів  $R_p$  відповідає максимуму щільності розподілу.

Іонне впровадження дає можливість більш незалежного регулювання концентрації домішки і її профілю. Профіль залежить від прискорюючої напруги (енергії пучка), а концентрація – від іонної дози.

При іонній імплантації розподіл упроваджених іонів майже нормальний, і їх концентрація може бути обчислена за формулою Гауса:

$$N(x) = \frac{\Phi}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - R_p}{\Delta R_p}\right)^2\right] \quad (1.7)$$

де  $\Delta R_p$  – розкид;  $R_p$  – проекція пробігу;  $x$  – глибина входження іона в матеріал.

На рисунку 1.2 представлено отримані Лі і Майером зведення про проекцію пробігу в розкиді іонів бору, фосфору і миш'яку в кремнії.

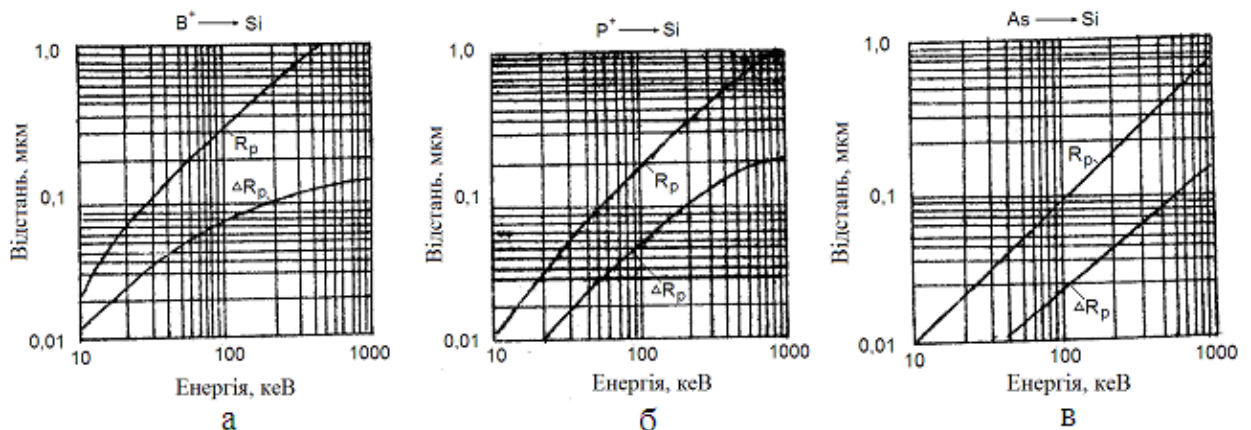


Рисунок 1.2 – Дані по проекції пробігу і розкиду в кремнії для: а) бору; б) фосфору; в) миш'яку

Слід зазначити, що формула (1.7) є наближеною і дає лише загальну характеристику моделі розподілу домішки при іонній імплантації.

Максимальна концентрація досягається при  $x = R_p$ . На цій голубині формула (4.3) дає

$$N_{\text{е}} = R_p \approx \frac{\Phi}{\sqrt{2\pi\Delta R_p}} \quad (1.8)$$

Реальний розподіл домішок і профілі, розраховані за допомогою (4.4), часто сильно розходяться. Це пов'язано в першу чергу з тим, що ефект каналування не завжди вдається звести до нуля.

### 1.3 Технологічне обладнання методу іонної імплантації

Схема установки для іонного впровадження показана на рисунку 1.3.

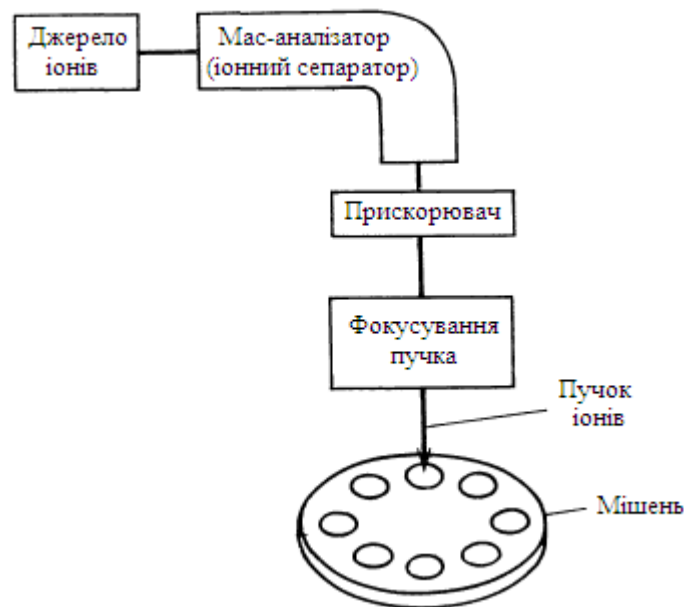


Рисунок 1.3 - Схема установки для іонного впровадження

Установка складається з джерела іонів, магнітного мас-аналізатора, який відділяє небажані іони від пучка, прискорювача іонів, електричних лінз і пластин, які відхиляють, для фокусування націлювання пучка, і мішені. Мішенню зазвичай служить металевий диск, на якому по концентричних колах розташовано від 50 до 60 пластин. Установка усередині є вакуумною камерою.

Найчастіше упроваджуються іони бору, фосфору і миш'яку. Оскільки при кімнатній температурі ці елементи не є газами, як джерело іонів використовуються молекули їх газоподібних з'єднань. Для здобуття іонів бору слу-

жить  $\text{BF}_3$  або  $\text{BCl}_3$ , для здобуття іонів фосфору  $\text{PH}_3$  або  $\text{PF}_3$ , а для здобуття іонів миш'яку застосовують  $\text{AsH}_3$  або  $\text{AsF}_3$ . Зазвичай атоми іонізують бомбардуванням електронами дугового розряду або холодного катода. При цьому бомбардуванні утворюються іони декількох видів. У мас-аналізаторі (іонно-му сепараторові) пучок іонів відхиляється магнітним полем. Із-за різниці мас вони відхиляються по-різному, тому вихідний тракт магнітного поля пропускає лише іони потрібного вигляду.

Залежно від цілей вживання випускаються різні варіанти конфігурації (рис. 1.4). У установках з високим струмом пучка останній може бути фіксований, а сканування виконується обертанням мішені з одночасним поворот-нопоступальним ходом. У інших установках пучок здійснює скануючі рухи, а мішень обертається.



Рисунок 1.4 - Установа для іонної імплантації

На рисунку 1.5 показані профілі розподілу домішки іонів бору, упродовжені з енергіями 50, 100 і 200 кеВ. Іонна доза постійна і рівна  $1 \cdot 10^{12}$  атом/см<sup>2</sup>.

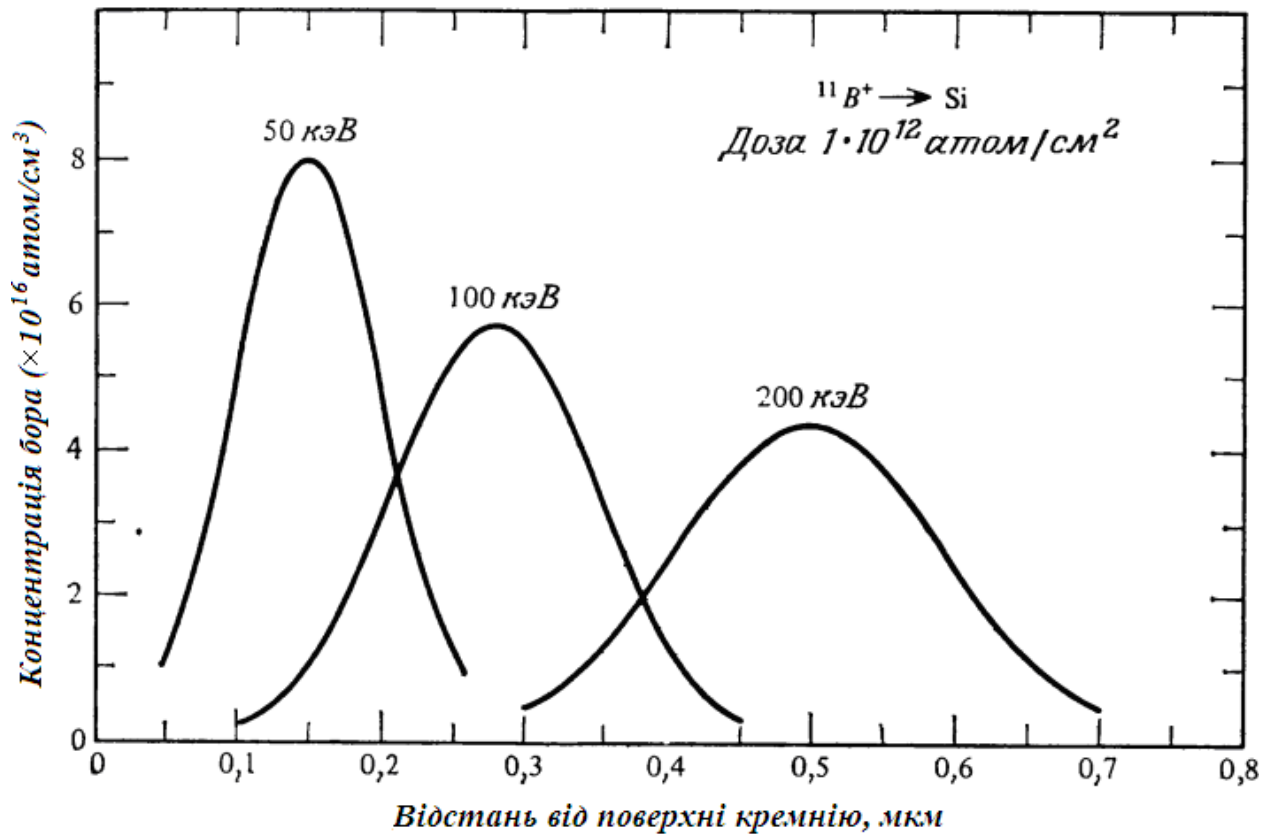


Рисунок 1.5 - Розрахункова глибина розподілу для бору, упродовженого в кремній

При невеликих дозах опромінення радіаційні дефекти не змінюють кристалічної структури напівпровідника, тоді як великі дози опромінення домішковими атомами призводять до аморфізації кристалу. Для усунення дефектів і впорядкування кристалічної ґратки кремнію виконують відпал кристалу при температурі 500 – 800 °С.

Іонна імплантація, так само як і дифузія, може бути загальною та локальною (вибірковою). В останньому, більш типовому випадку, опромінення (бомбардування) здійснюється через маски, в яких довжина пробігу іонів повинна бути значно менша, ніж в кремнії. Матеріалом для масок можуть служити розповсюджені в ІС двоокис кремнію та алюміній. При цьому важливою перевагою іонної імплантації є те, що іони, рухаючись по прямій лінії, вводяться тільки вглиб пластини, а аналогія бокової дифузії (під маску) практично відсутня [4].

В принципі іонну імплантацію, як і дифузію, можна проводити багаторазово, “вбудовуючи” один шар в інший. Але підбір енергій, часу експозиції і



режимів відпалу, необхідних для багаторазової імплантації, необхідно постійно обчислювати для конкретних задач імплантації. Тому іонна імплантація одержала головне розповсюдження при створенні тонких одинарних шарів.

Головними перевагами іонної імплантації є низька температура процесу та його добра контрольованість. Низька температура забезпечує можливість проведення іонної імплантації на будь-якому етапі технологічного циклу, не викликаючи при цьому додаткової дифузії домішок в шарах, що виготовлені раніше [4].

#### 1.4 Виникнення дефектів при іонній імплантації

Процес іонної імплантації супроводжується інтенсивним утворенням дефектів, тому що енергія падаючого іона на кілька порядків перевищує енергію зміщення атомів мішені. Виникаючи при цьому дефекти є нерівноважними, їх часто називають радіаційними. Найпростіші дефекти (одинокі вакансії і міжвузлові атоми) мають малий час життя при температурі, близькій до кімнатної, але при релаксації вони взаємодіють між собою та домішками, утворюючи різні електрично активні комплекси, стійкі і до впливу підвищених температур. Ці комплекси вносять в заборонену зону напівпровідника донорні і акцепторні рівні, компенсуючи легуючу домішку [5].

При впровадженні іонів в кремнієву кристалічну підкладку вони піддаються електронним і атомним зіткненням, проте, тільки атомні взаємодії призводять до зміщення атомів кремнію. Легкі і важкі іони виробляють якісно різне "дерево радіаційних дефектів". Легкі іони при впровадженні в підкладку спочатку відчують в основному електронне гальмування. На профілі розподілу зміщених атомів по глибині підкладки існує прихований максимум концентрації. При впровадженні важких іонів вони відразу починають сильно гальмуватися атомами підкладки. Важкі іони зміщують велику кількість атомів підкладки з вузлів кристалічної решітки поблизу її поверхні на остаточному профілі розподіл щільності радіаційних дефектів, який повторює розподіл довжин пробігу вибитих атомів підкладки, існує широкий прихований

під. Складна структура різних типів дефектів уздовж траєкторії руху іона викликана розподілом зміщених атомів підкладки [6].

У разі кремнію найбільш відомими комплексними дефектами є пентовакансії (амфотерний центр), E-центри (вакансія + елемент V групи, глибокий акцептор), A-центри (вакансія + атом кисню, глибокий акцептор), вакансія + елемент III групи (глибокий донор, усталеного позначення немає). Оскільки кожен падаючий іон виробляє сотні і тисячі зсувів, то кількість електрично активних дефектів може бути значно більше, ніж впровадженої домішки. В результаті ефект легування, заради якого виконується іонна імплантація, може бути придушений дефектами. Саме з цим зіткнулися перші дослідники іонного впровадження. Крім того, значна частина введеної домішки може виявитися в неправильному структурному становищі і, відповідно, не проявляти себе як донор або акцептор [5].

Цю проблему зазвичай вирішують за допомогою термічної обробки (Відпалювання), тим самим прагнуть наблизити стан опроміненого матеріалу до термодинамічної рівноваги. Дану процедуру проводять в інертному середовищі, щоб виключити термічне окислення кремнію [6].

При термообробці може спостерігатися ефект негативного відпалу, тобто зниження частки електрично активної впровадженої домішки в процесі відпалу відносно початкового рівня. Найбільш сильно цей ефект проявляється в кремнію, легovanому бором, при температурах 300 - 400°C. При цих температурах руйнуються комплекси за участю атомів кремнію, а далі міжвузлові кремнієві атоми виштовхують з вузлових положень домішкові атоми бору і встають на їх місце (реакція заміни по Уоткінс) [6].

Оптимальною температурою відпалу іонно-легованих кремнію вважається 800°C протягом 30 хв. Більш тривале відпалювання або застосування більш високих температур дозволяє відпалити більше складних дефектів і, тим самим, поліпшити якість легovanого шару. Але при цьому включаються дифузійні процеси, які призводять до погано розмиття профілю розподілу домішки, а значить і до погано відтворених властивостями легovanого шару.

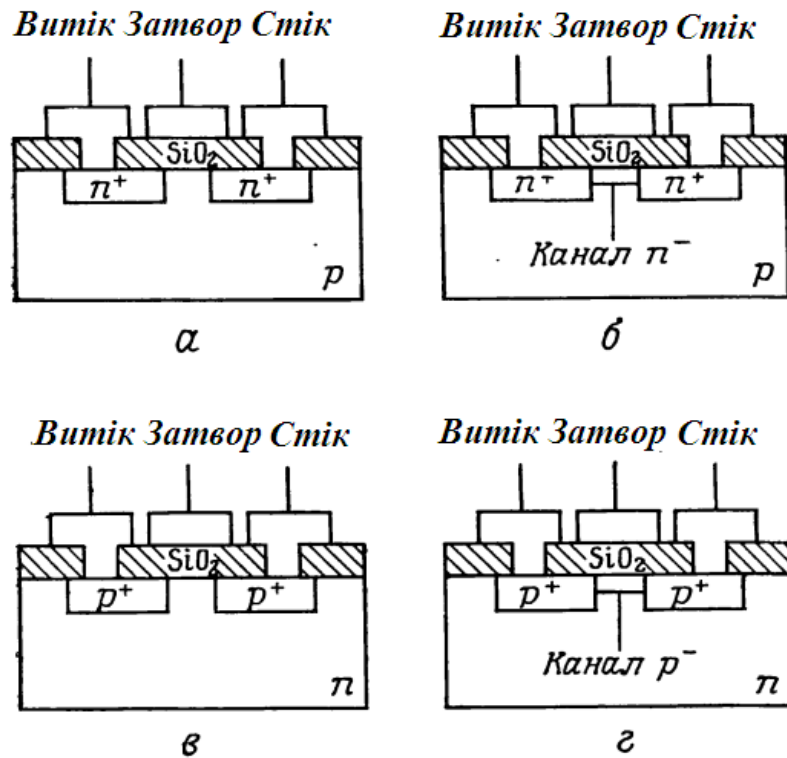
Таким чином процедура іонного легування напівпровідників обов'язково містить два найважливіші етапи: безпосередньо імплантація домішки і відпалювання [6].

### 1.5 Виготовлення елементів з МДН структурою

Унікальними властивостями мікросхем на МДН транзисторах є високий вхідний опір для сигналу будь-якої полярності, простота технології і обумовлений цим вищий відсоток виходу якісних виробів, менша вартість, самоізоляція МДН транзисторів від підкладки полегшуюча побудову ІМС, простота побудови логічних схем і можливість створення схем, які містять одні МДН транзистори, малі геометричні розміри транзисторів порівняно з біполярними, що обумовлює вищу густину розміщення елементів, а також електрична сумісність МДН інтегральні мікросхеми (ІМС) з біполярними схемами різних типів [7].

МДН з каналами р- і n-типів. Технологія виготовлення МДН транзисторів з каналом р-типу була першою освоєна в промисловому виробництві і закладена в більшості ІМС, які серійно випускаються (рис. 1.6).

Пластину кремнію з електропровідністю n-типу, питомим опором 4 - 8 Ом·см і орієнтацією (111) піддають термічному оксидуванню. Вирощують товстий діоксид (близько 0,5 мкм), в якому розкривають вікна і ведуть дифузії бору на глибину 2 - 3 мкм для створення р<sup>+</sup> областей стоку і витоку. При дифузії над р<sup>+</sup> областями наростає оксид завтовшки 0,2 - 0,3 мкм. В ньому розкривають вікна і пластину піддають оксидуванню в ретельно осушеному і обчищеному гідрогені для створення оксиду підзатвора. Цей процес є найвідповідальнішою операцією, оскільки якість і властивості діоксиду підзатвора визначають параметри і стабільність МДН транзистора. Товщина діоксиду складає 0,05 - 0,1 мкм. Електроди затвора, стоку і витоку формують за допомогою алюмінієвої металізації.



- а - n-канальна збагаченого типа;
- б - n-канальна збідненого типа;
- в - p-канальна збагаченого типа;
- г - p-канальна збідненого типа.

Рисунок 1.6 – Структури МДН транзисторів

Ця стандартна технологія дозволяє одержувати МДН транзистори з індукованим каналом р-типу, працюючі в режимі збагачення, з такими типовими параметрами: мінімальна ефективна довжина каналу 5 - 7 мкм, густина поверхневих зарядів  $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , порогова напруга -  $(4 \pm 0,5) \text{ В}$ . Недоліком стандартної технології є наявність значного (порядку 5 мкм) перекриття електродом затвора областей стоку і витоку, яке викликає збільшення паразитних ємностей затвор - стік і затвор - витік і зниження швидкодії схеми. Це перекриття обумовлено запасами на розкиди і помилками поєднання в процесі трьох фотолітографій. Використовування МДН транзисторів з каналами n-типу, які працюють в режимі збіднення, призвело до підвищення швидкодії ІМС, оскільки рухливість електронів в поверхневих інверсійних шарах в 2 - 3 рази вища рухливості дірок. Мікросхеми, які випускаються останніми рока-

ми, включають переважно транзистори з каналами n-типу. Це забезпечує сумісність з біполярними мікросхемами транзисторно-транзисторної логіки за знаком і значенням напруги живлення [7].

Для зниження порогових напруг використовують кремнієві пластини з поверхнею, орієнтованою по кристалографічній площині (100), яка в порівнянні з площиною (111) містить менше число ненасичених зв'язків на межі поділу Si - SiO<sub>2</sub>. Тому в структурі менша, густина поверхневих зарядів, яка складає біля  $14 \cdot 10^{11}$  мм<sup>-2</sup>. Це дозволяє порогові напруги МОН транзисторів з каналами p-типу збільшитися до - 2,5 В.

Комплементарні структури. Комплементарними або доповнюючими, МДН транзистори (КМДН транзистори) названі тому, що до складу комплементарної пари входять транзистори з каналами p- і n- типів, сформовані на загальній підкладці і працюючі в режимі збагачення з індукованим каналом (рис. 1.7).

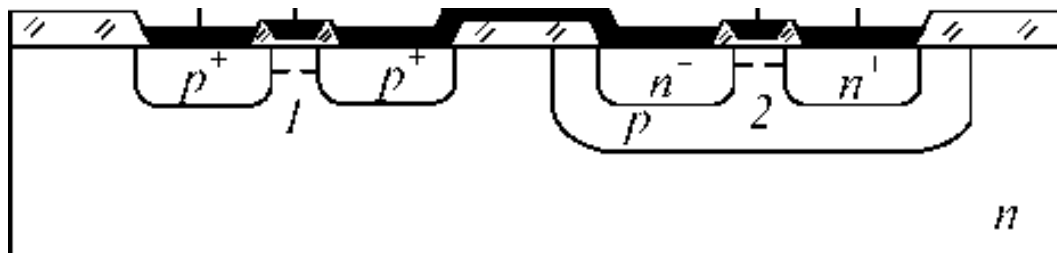


Рисунок 1.7 - Структура КМДН транзистора

В стаціонарному стані один з транзисторів завжди закритий. Значення струму відкритого транзистора комплементарної пари визначається витоком одного із стічних переходів і не перевищує одиниць наноампер, що забезпечує потужність розсіювання в статичному режимі  $10 \cdot 10^{-9}$  Вт. Перешкодостійкість схем на КМДН транзисторах за рахунок високої крутизни перехідної області передавальної характеристики може досягати 40% від напруги живлення [7].

Технологічний процес виготовлення КМДН-приборів починається з формування в пластині n-типу дифузійних карманів p-типу, які слугують для

виготовлення в них транзисторів з каналами n-типу. За допомогою дифузії бору в n-пластину формують стічну і витокову області транзистора з каналом p-типу. Для формування стоку і витоку транзисторів з каналом n-типу використовують дифузію фосфору. Діоксид підзатвора вирощують одночасно у всіх транзисторів, після чого формують з'єднувальну металізацію.

Кремнієві затвори. Використовування полікремнієвих затворів дозволяє одержати структури з самосумісним затвором, знизити порогову напругу за рахунок зменшення різниці робіт виходу між матеріалами затвора і підкладки, а також зменшення густини поверхневих зарядів, зменшити геометричні розміри транзисторних структур, створити другий шар міжелементних з'єднань. Процес виготовлення починається з вирощування плівки діоксиду затвора завтовшки 0,1 мкм. На поверхню пластини осаджують полікремній товщиною біля 0,5 мкм. З нього формують шини затвора шириною близько 5 мкм і провідники першого шару міжелементних з'єднань. В області стоку і витоку на глибину 1 мкм проводять дифузію бору. Тонкий шар діоксиду не є перешкодою для дифузії. Одночасно бор дифундує в шини затвора, що знижує їх поверхневий опір до 20 Ом. Шини затвора з полікремнію при дифузії надійно захищають області каналів від проникнення бору, завдяки чому області стоку і витоку автоматично поєднуються із затвором при паразитному перекритті менше 1 мкм. На поверхні пластини вирощують плівку діоксиду кремнію, в якому витравляють вікна і формують контакти (рис. 1.8).

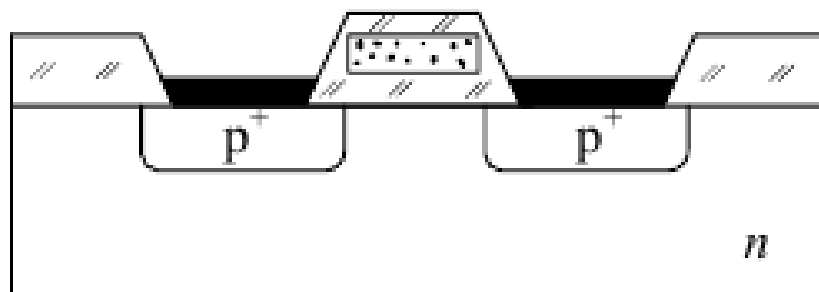


Рисунок 1.8 - Структура МДН транзистора з кремнієвим затвором

Використання полікремнію p<sup>+</sup>-типу приводить до зменшення порогової напруги за абсолютним значенням на 1,1 В. В результаті порогова напруга

приладів з каналами р-типу на підкладці (111) зменшується до - 1,5 В, а на підкладці (100) - до 0,5 В, що приводить до істотного поліпшення потреби споживаної потужності на швидкодію для ІМС.

Технологія кремнієвих затворів дозволяє також одержувати транзистори з каналами n-типу зі збагаченням: одночасно з дифузією фосфору в області стоку і витоку відбувається легування кремнієвих затворів і зниження поверхневого опору кремнієвих з'єднувальних шин до 10 Ом. До числа основних переваг МДН ІМС з кремнієвими затворами слід також віднести їх сумісність за вхідними і вихідними рівнями напруги з біполярними логічними мікросхемами, що значно спрощує побудову цифрових систем.

Зниження порогових напруг, сумісність затворів, зменшення розмірів дифузійних областей і ємності полікремнієвих з'єднувальних шин щодо підкладки забезпечує поліпшення швидкодії в порівнянні із стандартними МДН ІМС в 3 - 5 разів. Технологія кремнієвих затворів є в наш час однією з перспективних в області масового виробництва швидкодійних і недорогих МДН ІМС.

Структури КНС. В будь-якій сучасній мікросхемі активні та пасивні елементи займають не більше 1% об'єму кремнієвого кристала на якому сформована ІМС, інші 99% відіграють роль утримувача і обумовлюють наявність паразитних зв'язків. Ідея ізоляції елементів за допомогою структур КНС з'явилася 1963 р., але тільки в 1971 р. були виготовлені перші зразки функціонуючих мікросхем на КНС-структурах і лише через десятиліття КНС-технологія зростає до промислового рівня.

Застосування ізолюючих монокристалічних підкладок з сапфіру, на поверхні яких вирощують тонкий (близько 0,5 - 1 мкм) епітаксійний шар кремнію, є ефективним технологічним методом зменшення паразитних ємностей в МДН ІМС на порядок і більше, що дозволяє істотно підвищити швидкодію мікросхем. Окремі МДН-транзистори формують у витравлених в цьому шарі ізольованих один від одного острівцях, що дозволяє зменшити паразитні зв'язки між елементами через підкладку практично до нуля. В порівнянні із стан-

дартним і КМДН ІМС спрощуються фотошаблони і зменшується їх число. Це обумовлено тим, що на сапфірі можна виключити захисні зони, ізолюючі р- і n-області в КМДН ІМС. Застосування КНС-структур збільшує швидкодію ІМС середнього ступеня інтеграції в 3 - 5 і до 10 разів, якщо воно не визначається повною ємністю корпусів і електродів.

Технологія виготовлення МДН транзисторів на ізолюючих сапфірових підкладках ілюструється на прикладі КМДН інвертора (рис. 1.9).

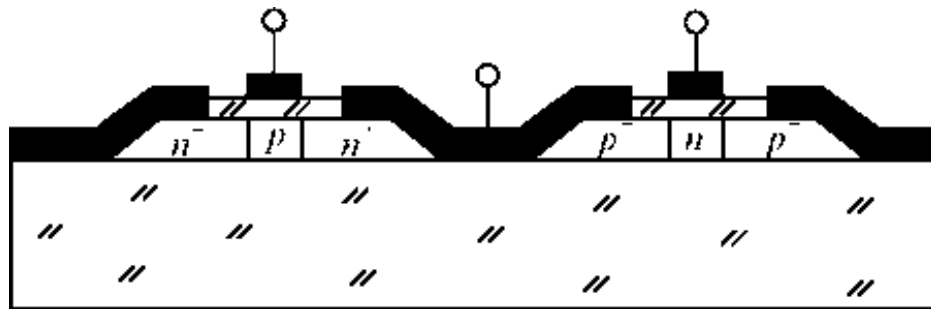


Рисунок 1.9 - КМОП інвертор на структурі КНС

На поверхні сапфірової підкладки вирощують епітаксійний шар монокристалічного кремнію р-типу завтовшки 0,5 мкм і з високим питомим опором. За допомогою фотолітографії і селективного травлення формують ізолявані острівці для окремих транзисторів, в які проводять одночасну дифузю бору і фосфору на всю глибину кремнієвого шару. Потім розкривають вікна, вирощують діоксид підзатвора, створюють електроди і з'єднувальні провідники. В структурах КНС майже в 20 разів зменшується площа шару кремнію на підкладці, а разом з цим число дефектів в діодиску і замикань в з'єднувальних шинах, що сприяє підвищенню відсотка виходу придатних приладів.

Технологія КНС має ряд недоліків [7]. Відмінність в кристалічних структурах сапфіру і кремнію приводить до значного підвищення концентрації структурних дефектів в епітаксійному шарі. Причиною цього є спад рухливості носіїв заряду, що знижує швидкодію, і зростання коефіцієнта дифузії легуючої домішки поблизу межі поділу кремній-сапфір, що може викликати наскрізне дифузійне замикання каналу. При високій температурі дифузії від-



бувається автолегування кремнію алюмінієм і гідрогеном, який входить до складу сапфіру. Сапфірові підкладки важко різати на кристали. Вони не піддаються скрайбуванню і їх ріжуть полотнами. Сапфірові чіпи не можна вмонтовувати в корпус шляхом паяння евтектикою, їх доводиться приклеювати.

Метою роботи являється розробка автоматизованої системи управління режимами відпалу та контролю якості МДН структур.

Для здійснення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання.

1. Розробити автоматизовану систему управління режимами відпалу напівпровідникових структур.

2. Удосконалити методику контролю якості МДН структур після відпалу на схемотехнічному рівні.

## 2 Розробка автоматизованої системи управління режимами відпалу та контролю якості МДН структур

### 2.1 Автоматизована система управління відпалом МДН структур

Дослідження високолегованих шарів приладових структур на основі кремнію останнім часом стимулюється розвитком мікро- і нанотехнологій, загальною тенденцією до мікромініатюризації приладів і пристроїв електроніки, зменшенням товщини робочих структур, синтезом багатошарових і наноструктурованих композицій [8]. Використання високоенергетичного випромінювання і термічних обробок в технології отримання кремнієвих приладових структур підвищеної якості вимагає все більшої уваги у зв'язку з потребами мікроелектроніки. Проблема легування напівпровідникових матеріалів відповідними добавками є ефективним засобом контролю зміни їх властивостей.

В процесі іонної імплантації легуючих домішок в структурі формуються точкові дефекти кристалічної решітки, які в процесі відпалу перетворюються на дефекти упаковки. Це призводить до погіршення параметрів електронних виробів [9].

Для виготовлення високоякісних кремнієвих приладових структур в практику впроваджено методи термічної обробки. Особлива увага приділяється термообробці електронним пучком, перевагами якого є:

- легкість отримання та досягнення високих рівнів потужності електронних пучків;
- можливість фокусування пучка до малих розмірів;
- зручне управління пучками, простота включення і виключення, а також можливість сканування з високою точністю;
- високий ступінь активації імплантованих атомів;

- висока ефективність передачі енергії пучка кремнієвій структурі при малих втратах.

Для технологічної схеми виготовлення приладових структур (рис. 2.1) необхідно розробити автоматизовану систему управління міні-піччю для відпалу напівпровідникових структур.

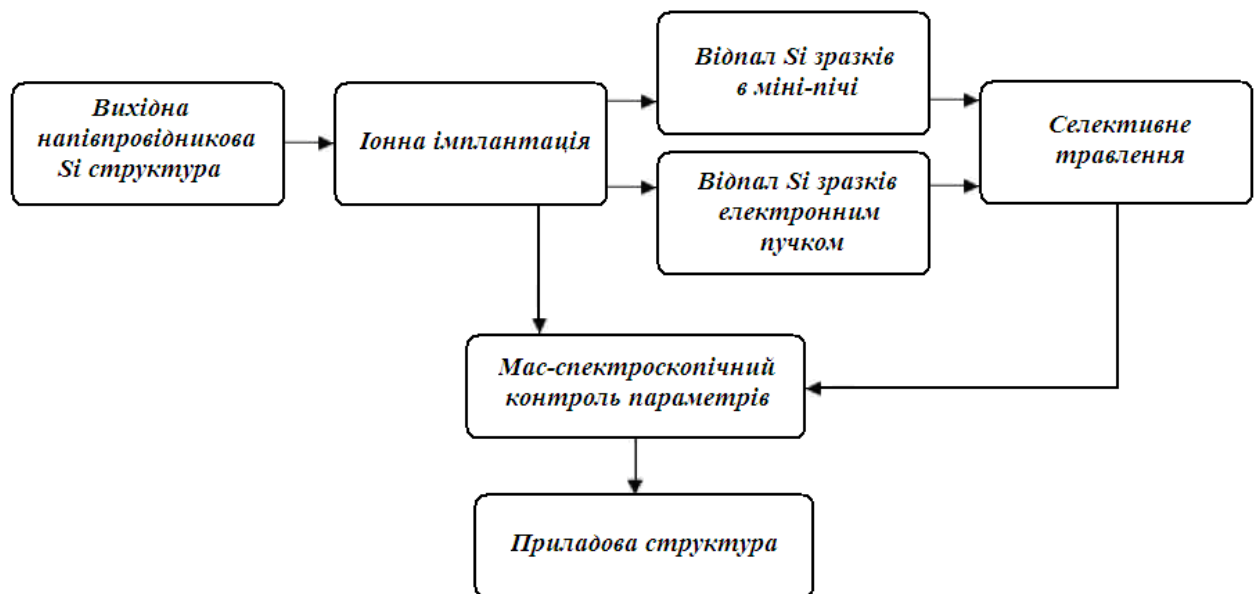


Рисунок 2.1 - Технологічна схема виготовлення приладових структур

Автоматизована система підтримує температуру з похибкою не більш ніж  $1^{\circ}\text{C}$  у діапазоні температур від  $400^{\circ}\text{C}$  до  $1300^{\circ}\text{C}$ , дозволяє формувати профіль зміни температури у часі та зміну температурних градієнтів. Крім того, система забезпечує можливість керування декількома міні-пічками для зменшення накладних витрат.

Структурна схема автоматизованої системи наведена на рисунку 2.2. Враховуючи те, що технологія є двохступеневою, необхідно визначити послідовність відпалу структур. Проведені експерименти [9] показали, що при відпалюванні ( $T = 600^{\circ}\text{C}$ , час  $t = 5$  хв.) спочатку у міні-печі, а потім електронним пучком не було досягнуто ні покращення кристалічної структури, ні електричних властивостей імплантованих шарів. У зворотній послідовності - процес створення кристалічних островків було подавлено твердофазною епі-

такійною рекристалізацією, яка при низькій температурі має меншу енергію активації.

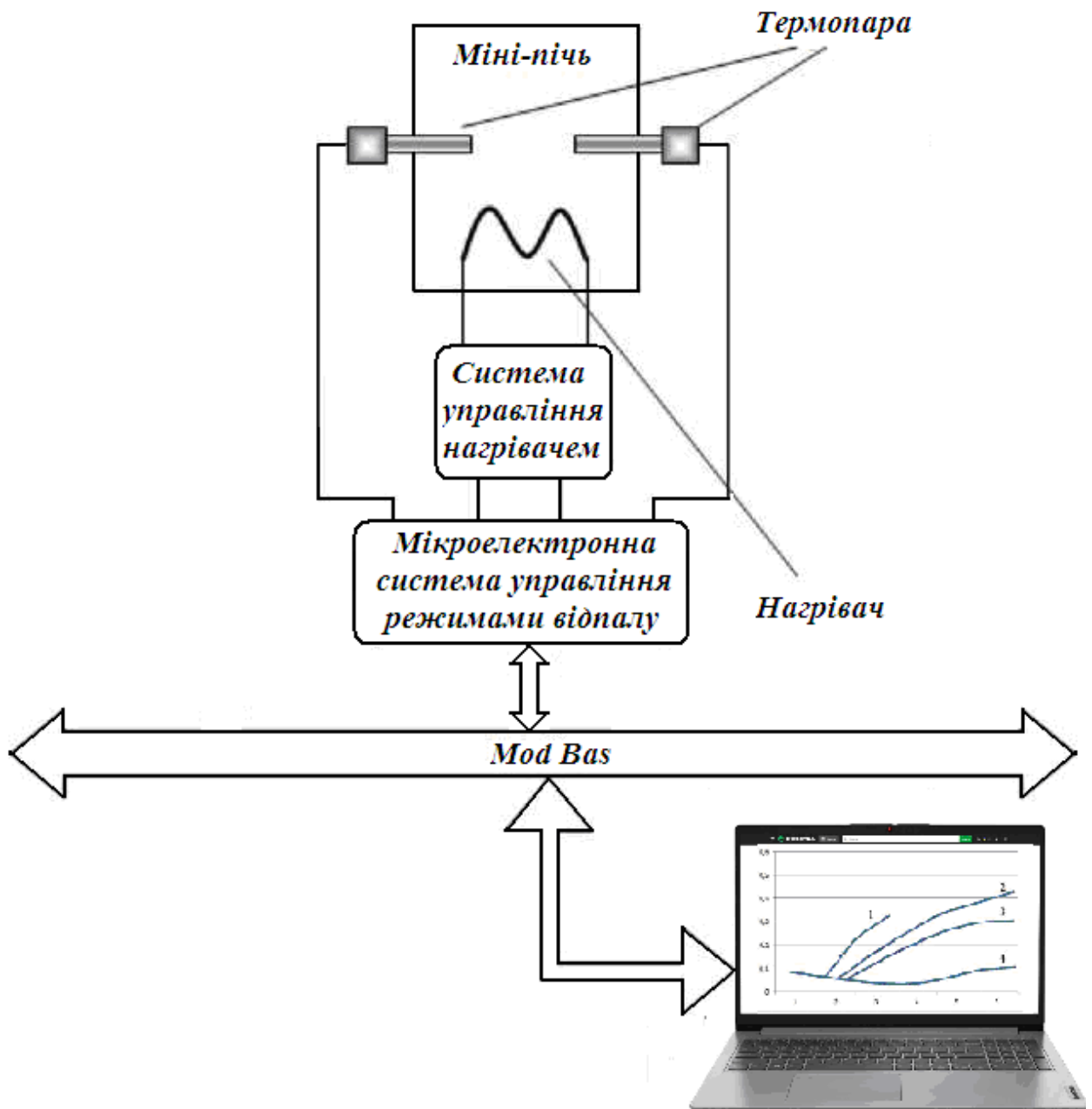


Рисунок 2.2 - Структурна схема автоматизованої системи управління міні-піччю для відпалу напівпровідникових структур

Для визначення параметрів електронним променем розраховано декілька циклів нагріву та встановлено, що велика густина потужності приводить до високих швидкостей росту температури і, при продовженні нагріву до високих рівноважних температур, при яких потужність випромінювання рівна

вхідній потужності [9]. Збільшення терміну дії електронного пучка дозволяє керувати з високою точністю дифузією легуючої домішки.

## 2.2 Розробка системи управління температурою нагрівача

Для автоматизованого управління відпалюванням напівпровідникових структур використовується міні-піч. Стабілізатор температури виконано у вигляді приставки до міні-пічі і дозволяє вимірювати і автоматично підтримувати необхідну позитивну температуру з точністю не гірше  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Дискретність індикації температури  $1^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2.1 Принцип функціонування термостабілізатора

Потрібна температура встановлюється в діапазоні  $600^{\circ}\text{C}$ . Датчиком температури служить терморезистор, розміщений в термокамері (рис. 2.3). Напруга, що знімається з термодатчика, посилюється підсилювачем напруги і поступає на перетворювач напруга-частота ( $U \rightarrow f$ ), зібраний на операційному підсилювачі.

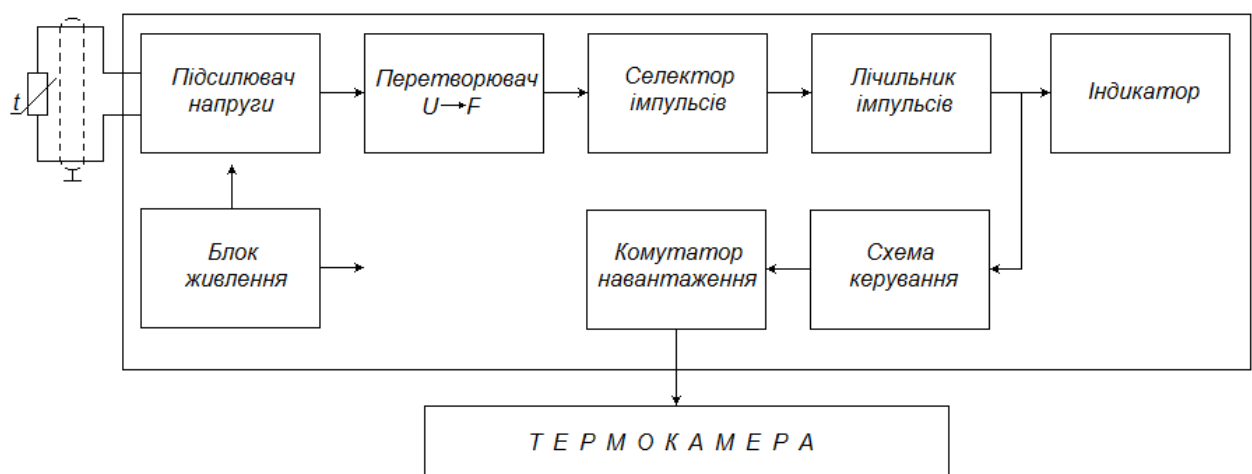


Рисунок 2.3 – Структурна схема термостабілізатора

На виході перетворювача напруга-частота формуються двохполярні імпульси.

Селектор формує інтервал імпульсів, що поступають на лічильник. Лічильник налаштовується так, щоб число імпульсів, що приходять за фіксований інтервал часу, відповідало температурі, що вимірюється і змінювалося пропорційно її зміні [10].

Температура, що вимірюється відображається на індикаторному пристрої.

Режим термостабілізації здійснюється за рахунок роботи схеми керування та силового комутатора.

Джерело живлення перетворює напругу змінного струму 220В в постійну напругу  $\pm 12\text{В}$ , та  $+5\text{В}$ . У якості силового комутатора використовується оптоелектронний семістор.

### 2.2.2 Підсилювач напруги

Датчиком температури служить термопара, розташована в термокамері, який підключена у діагональ мостової схеми. Напруга, яка знімається з термодатчика, посилюється схемою зібраною на операційному підсилювачі (ОП).

У загальному випадку для роботи операційного підсилювача потрібне двохполярне джерело живлення. Типові значення напруги джерела складають  $\pm 6\text{ В}$ ;  $\pm 12\text{ В}$ ;  $\pm 15\text{ В}$  (інколи  $\pm 18\text{ В}$ ). Схема підключення ОП до двохполярного джерела живлення і навантаження представлена на рисунку 2.4 [10].

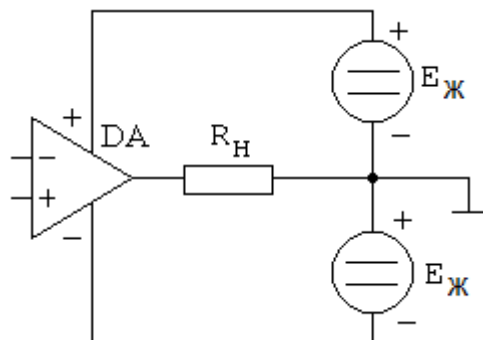
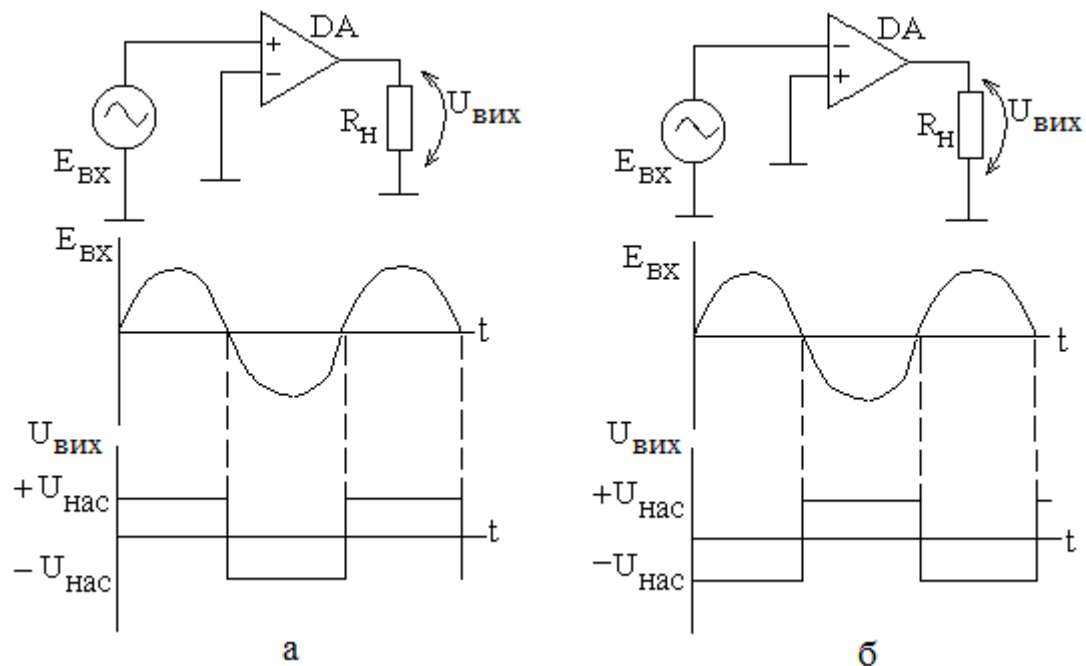


Рисунок 2.4 – Типова схема підключення ОП

Для вимірювальних схем застосовуються схеми компараторів на операційних підсилювачах.

Схеми простих компараторів (пристроїв, що порівнюють два вхідних сигнали) з використанням ОП і часових діаграм, що пояснюють їх роботу, представлені на рисунку 2.5.



а – подання опорної напруги на інвертуючий вхід;

б - подання опорної напруги на неінвертуючий вхід;

Рисунок 2.5 – Прості компаратори та діаграми їх роботи

На схемі (рис. 2.5, а) на вхід (–) подана опорна напруга землі (0 В). До входу (+) прикладена напруга, яка порівнюється з опорною. Як впливає з

$$U_{\text{вих}} = K \cdot E_{\text{д}} \quad (2.1)$$

вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  змінює знак при зміні полярності  $E_{\text{вх}}$  ( $E_{\text{д}} = E_{\text{вх}} - 0$ ). При позитивній півхвилі вхідної напруги  $U_{\text{вих}} = +U_{\text{нас}}$ , при негативній  $U_{\text{вих}} = -U_{\text{нас}}$ . При заземленні (+) входу (рис. 2.5, б) спостерігається протилежна картина ( $E_{\text{д}} = 0 - E_{\text{вх}}$ ).

Обидві схеми (рис. 2.5) дозволяють отримати наступну інформацію про вхідний сигнал: полярність  $E_{\text{вх}}$ , момент рівності  $E_{\text{вх}}$  нулю і напрям зміни  $E_{\text{вх}}$  при  $E_{\text{вх}} = 0$ . Такі компаратори називають також детекторами нульового рівня.

Датчиком температури служить термопара МАХ6675 з опором 10к, яка підключений у гілку вимірювального моста R1...R4 (рис. 2.6).

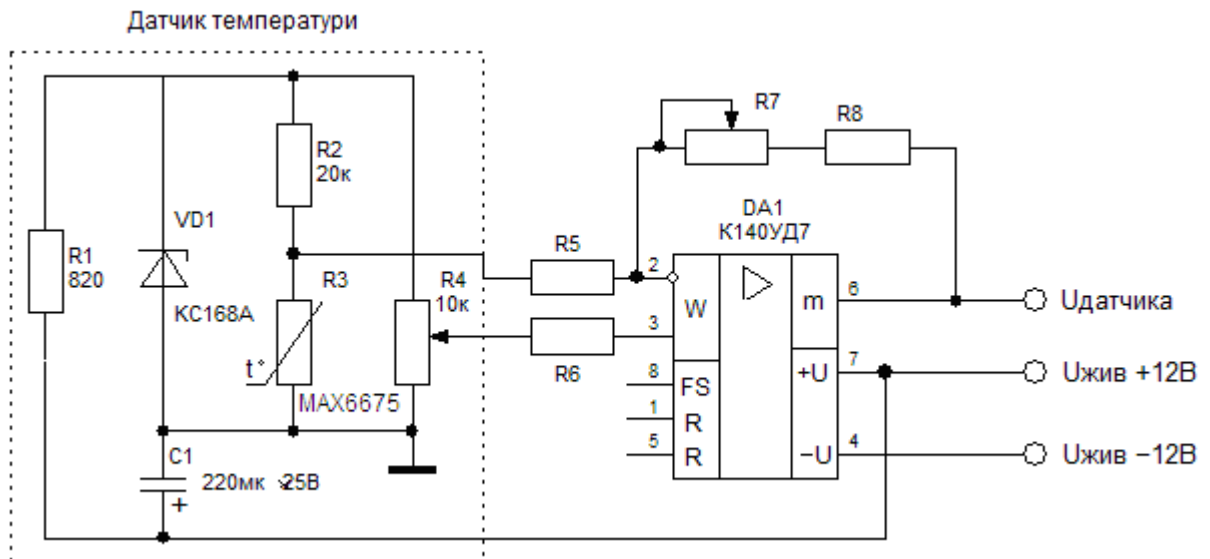


Рисунок 2.6 – Схема виміру температури

Стабілітрон VD1 (KC168A) з напругою стабілізації 5...8В, підключений до діагоналі моста, резистор R1 (820Ом) та конденсатор C1 (220мк ×25В) застосовані з метою підтримки постійних робочих параметрів.

Компаратор зібрано на мікросхемі K140УД7, який являє собою операційний підсилювач середньої точності, з внутрішньою частотною корекцією і захистом входу та виходу від короткого замикання.

### 2.2.3 Перетворювач напруга-частота

Підсилений сигнал з датчика температури поступає на прецензійний перетворювач напруга-частота ( $U \rightarrow f$ ), зібраний на операційному підсилювачі КР140УД20 (рис 2.7).

На виході 10 мікросхеми DA1 формуються двополярні імпульси (рис. 2.8). Коло з елементів VD6-R5-R6 забезпечує проходження на селектор лише позитивних імпульсів, а також зменшує їх амплітуду до рівня, необхідного логічним мікросхемам.



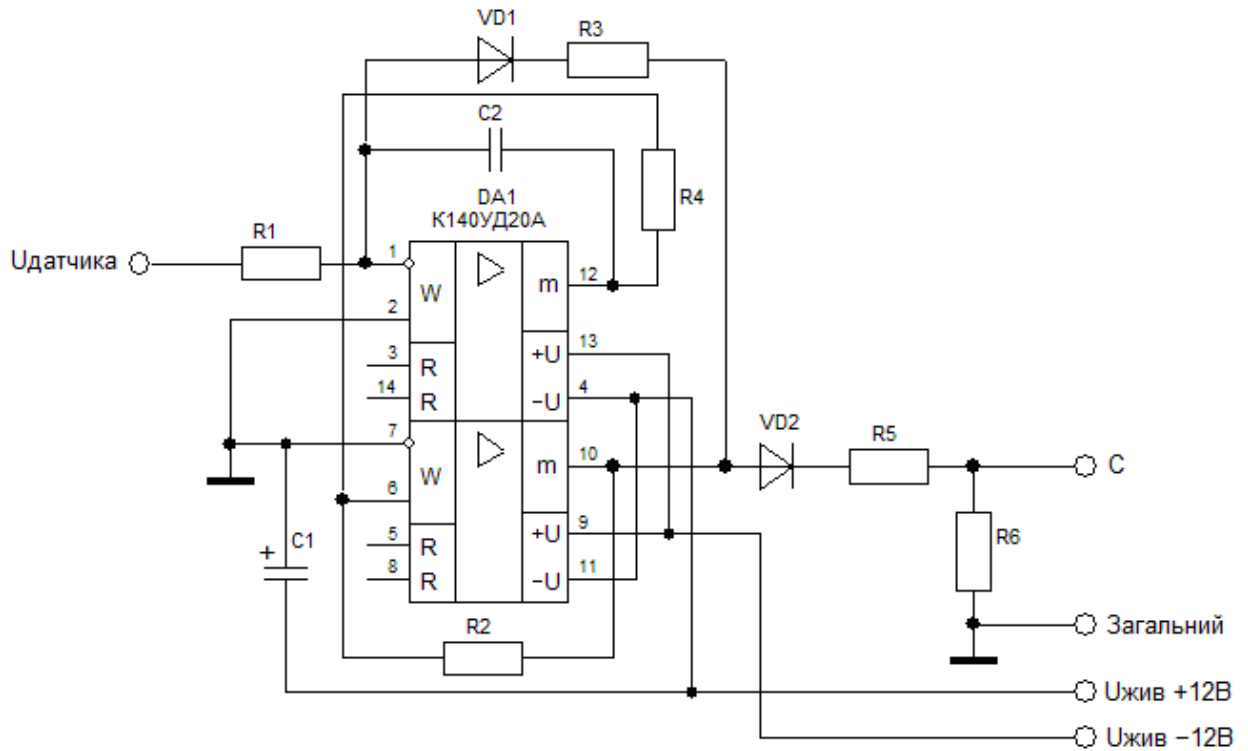


Рисунок 2.7 - Прецизійний перетворювач напруга-частота ( $U \rightarrow f$ )

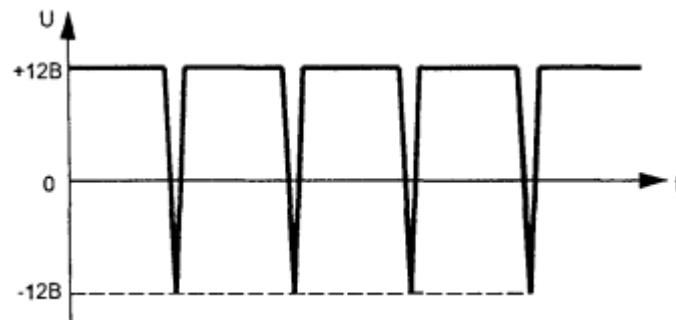


Рисунок 2.8 - Форма імпульсів на виході перетворювач напруга-частота

#### 2.2.4 Селектор імпульсів

Селектор імпульсів формує інтервал, протягом якого імпульси поступають на лічильник імпульсів [10].

Тривалість інтервалу залежить від частоти автогенератора. Використання мікросхем, які можуть працювати логічними неінвертуючими елементами І, АБО, дозволяє спростити схеми мультівібраторів, що чекають. Мікросхеми 561 серії мають на частоті 1МГц динамічну потужність вжитку

20мВт/ле, а їх статична потужність вжитку вимірюється одиницями мікровоат, що задовольняє головній вимозі – мінімум споживаної енергії.

Нове сімейство швидкодіючих КМОН схем відрізняється збільшеними швидкодією і здатністю навантаження. Поліпшення характеристик досягається за рахунок щільнішої топології структури затвора і тоншого шару оксиду в області затвора. Ця технологія забезпечує малу споживану потужність і високу перешкодозахищену і широкий діапазон температур у поєднанні з високою швидкодією і здатністю навантаження.

Схема генератора імпульсів приведена на рисунку 2.9. Робота такого мультивібратора декілька розрізняється для випадків вживання в них мікросхем серії К176 з одним захисним діодом або серії К176 і останніх серій з двома діодами.

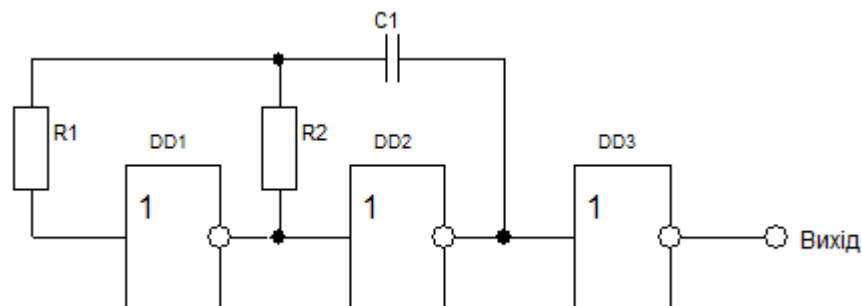


Рисунок 2.9 - Генератор імпульсів на трьох інверторах

Форма коливань в генераторі приведена на рисунку 2.10. Верхня діаграма показує залежність від часу напруги на лівому обкладанні конденсатора, нижня на виході генератора. Спад напруги з виходу елементу DD2, поступаючи на вхід елементу DD1 через конденсатор C1 і резистор R2, обмежується вхідним діодом на рівні, близькому до логічного 0, після чого починається заряд конденсатора через резистор R1, що підвищує напругу на лівій обкладинці конденсатора. Час його заряду до порогової напруги приблизно дорівнює  $0.7R_1C_1$ . Лавиноподібний процес перемикання елементів приведе до передачі з виходу елементу DD2 на вхід елементу DD1 позитивного перепаду напруги з амплітудою, рівною напрузі живлення.

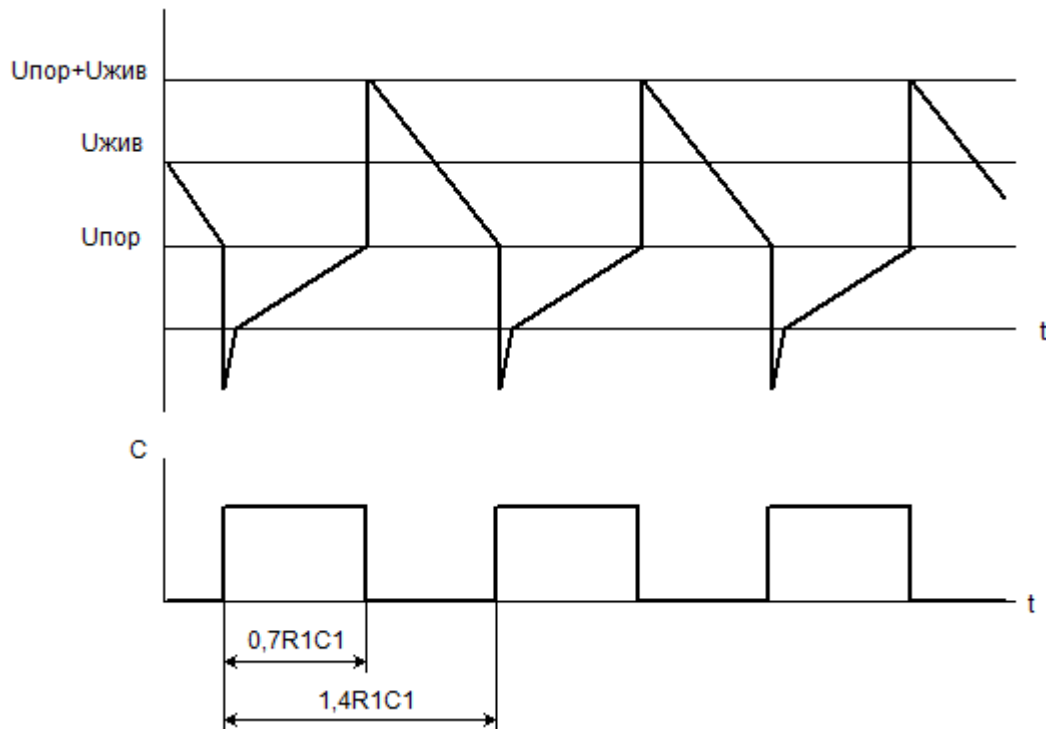


Рисунок 2.10 - Часова діаграма роботи генератора

Перезаряд конденсатора  $C1$  у бік зменшення напруги на лівій обкладці почнеться від напруги  $U_{жив} + U_{пор}$ , внаслідок чого на цей процес піде більший час - близько  $1,1R1C1$ . Повний період коливань складе  $1,8R1C1$ , частота -  $0,55/R1C1$ .

Якщо в генератор встановлені мікросхеми з двома захисними діодами, тривалість обох процесів перезаряду конденсатора буде однаковою –  $0,7R1C1$ , повний період –  $1,4R1C1$ , частота -  $0,7/R1C1$ .

Резистор  $R2$  потрібний, як і в диференціюючих колах, для обмеження струму через вхідні діоди і зменшення навантаження на елемент  $DD2$ . Якщо його величина значно менша, ніж в резистора  $R1$ , він на частоту генерації не впливає. При сумарних величинах  $R1$  і  $R2$  частота генерації декілька знижується. Часто резистор  $R2$  не ставлять або встановлюють послідовно з конденсатором  $C1$  [10].

Селектор імпульсів налагоджується так, щоб число імпульсів, які приходять за фіксований інтервал часу, відповідало температурі, що вимірюється

і мінялося пропорційно її зміні (наприклад, температурі 50°C відповідає 500 імпульсів, тобто одному градусу – 10 імпульсів).

Моделювання селектору імпульсів в програмному забезпеченні Electronics Workbench показує правильність функціонування відповідно до вимог поставленого завдання.

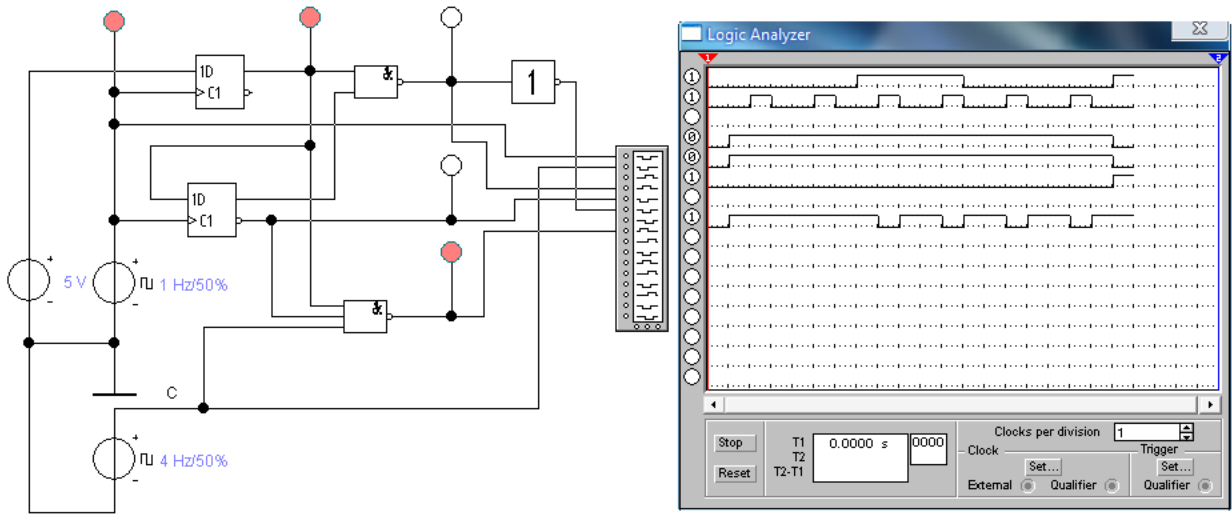


Рисунок 2.11 – Моделювання функціонування селектору імпульсів

Схема селектору імпульсів зібрана на мікросхемах КМОП-логіки та ТТЛШ-логіки (рис. 2.12).

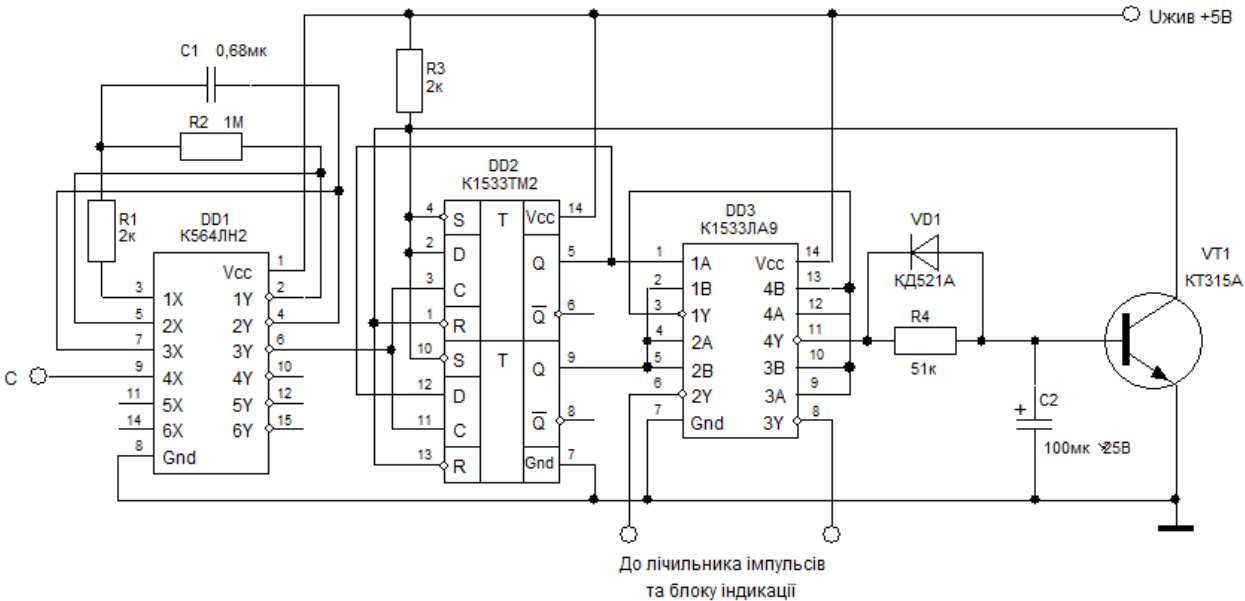


Рисунок 2.12 – Схема селектора імпульсів

Частота вимірів температури залежить від ємності конденсатора C2 і номіналу резистора R4. Як тільки конденсатор C2 зарядиться транзистор VT1 відкривається і обнуляє тригери DD2.1 і DD2.2.

### 2.2.5 Лічильник імпульсів

Лічильник призначений для підрахування числа імпульсів, які приходять за фіксований інтервал часу. Число імпульсів відповідає температурі, яка вимірюється і змінюється пропорційно її зміні [4]. Використаємо мікросхеми K1533ИЕ2 (рис. 2.13).

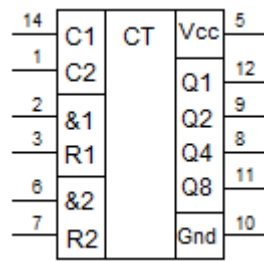


Рисунок 2.13 - Мікросхема K1533ИЕ2 (7490)

Мікросхема являє собою двійково-десятковий лічильник, який складається з чотирьох D –тригерів, внутрішньо з'єднаних для виконання операції ділення на два і п'ять. Входи установки нуля забезпечують заборону лічення по входам C1 і C2 та повернення усіх виходів у стан низького рівня або відлік двійково-десяткового числа у дев'ять. Вихід Q1 не з'єднаний з наступними тригерами, тому можна здійснити три незалежних режиму роботи лічильника: при зовнішньому з'єднанні входу C2 з виходом Q1 здійснюється операція двійково-десяткового рахування; при зовнішньому з'єднанні входу C1 з виходом Q8 здійснюється операція ділення на десять вихідного імпульсу з скважністю 2, сигнал знімається з виходу Q1; без зовнішніх з'єднань тригер з виходом Q1 здійснює операцію ділення на два (вхід C2 використовується для виконання операції ділення на п'ять). Обидва лічильника працюють незалежно один від одного [12].

Таблиця 2.1 показує, який стан повинен бути на входах установки  $\&$ , R, щоб на виходах лічильника здійснювалась операція підрахунку імпульсів.

Таблиця 2.1 – Таблиця функціонування мікросхеми K1533IE2 (7490)

Входи установки				Виходи			
$\&1$	R1	$\&2$	R2	Q1	Q2	Q4	Q8
1	1	0	×	0	0	0	0
1	1	×	0	0	0	0	0
×	×	1	1	1	0	0	1
×	0	×	0	Лічення			
0	×	0	×	Лічення			
0	×	×	0	Лічення			
×	0	0	×	Лічення			

Результат моделювання відповідає завданню, лічильник підраховує кількість імпульсів і відображає інформацію на індикаторах (рис. 2.14).

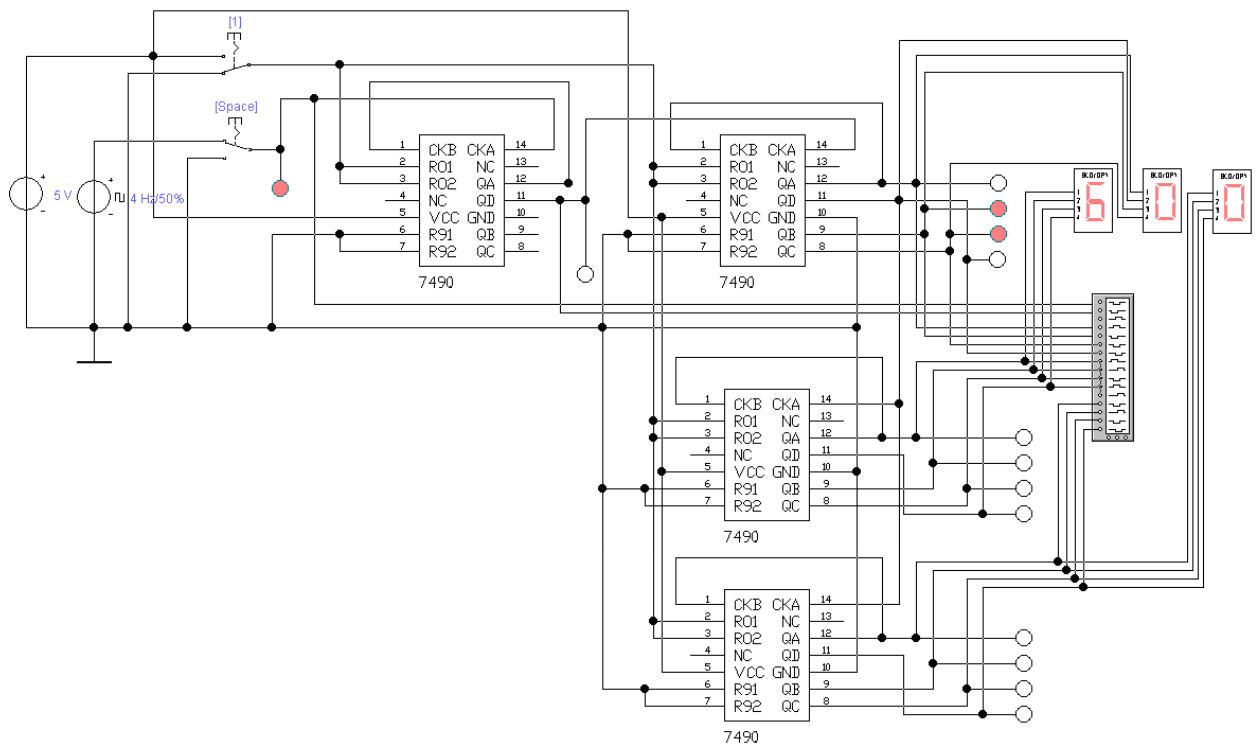


Рисунок 2.14 – Аналіз функціонування лічильника імпульсів

Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації зібрана на мікросхемах K1533IE2 та дешифраторах перетворення двійкового коду чисел у код семисегментних індикаторів 514ИД2 (рис. 2.15). Результати підра-

хунку числа імпульсів за фіксований інтервал часу формуються у три чотирихрозрядних кода (код індикації одиниць, код індикації десятків і код індикації сотен).

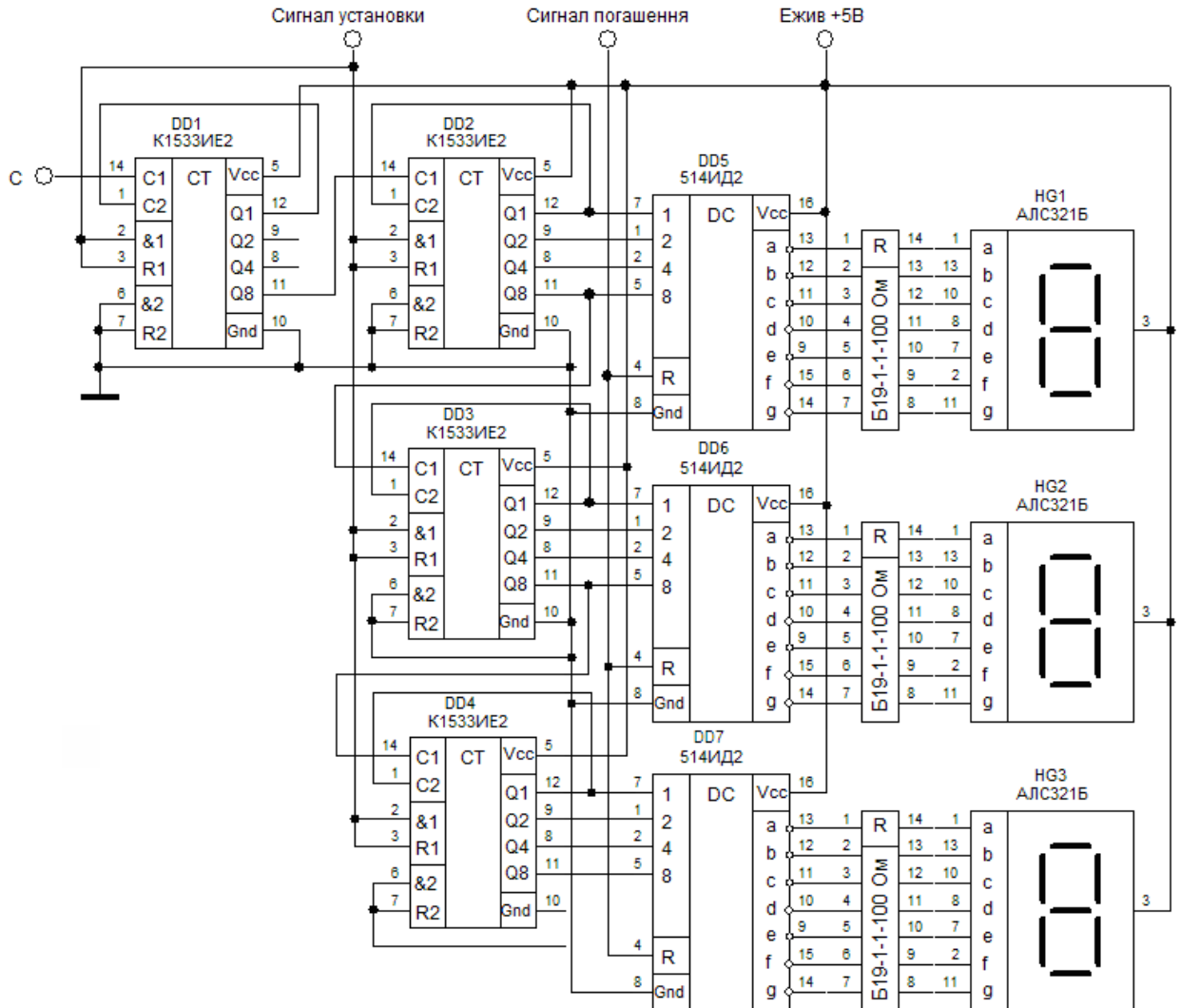


Рисунок 2.15 - Схема електрична лічильника імпульсів та блоку індикації заданої температури

Лічильники ведуть підрахунок імпульсів по згідно з сигналом установки. На вхід С1 лічильника DD1 поступають імпульси з виходу селектора – трьохвходового елементу І-НІ (рис. 2.11). На час виміру температури індикатори HG1...HG3 гасяться подачею рівня логічного нуля на входи 4 дешифракторів 514ИД2. Температура, яка вимірюється показується трьома світлодіодними семисегментними індикаторами з загальним анодом.

Напівпровідникові знаковосинтезуючі індикатори – це низьковольтні прилади, зручно поєднувані з джерелами живлення і рівнями струмів мікросхем. Вони мініатюрні і дозволяють конструювати пристрої, призначені для відображення інформації різної складності, - від точки, що світиться, до текстів і графіків. Індикатори володіють малим часом перемикачності - менше 50 нс. Прилади характеризуються відносно високими рівнями робочих струмів і помірними рівнями яскравості [12].

Багатоелементні напівпровідникові знаковосинтезуючі індикатори призначені для представлення інформації у вигляді знаків і організованих в один або декілька розрядів. В даний час випускається декілька сотень типів багатоелементних напівпровідникових індикаторів, у тому числі знакові, модулі шкали, модулі екрану. Вони розрізняються числом, розмірами і конфігурацією світловилучаючих елементів, кольором свічення, конструктивними рішеннями.

### 2.3 Схеми автоматизованої мікроелектронної системи управління режимами відпалу

У схемі управління використаємо елементи К564ЛС2 (4-2-І-АБО). Режим термостабілізації здійснюється за рахунок роботи схеми порівняння зібраної на мікросхемах К564ЛС2 (DD3...DD4) (рис. 2.16). Сигнали з виходів лічильників імпульсів (рис 2.15) поступають на дешифратори DD1...DD2, які перетворюють двійковий код у десятковий.

Необхідна температура задається за допомогою перемикачів SA1 і SA2. Схеми порівняння на елементах DD3...DD4 забезпечує відключення нагрівачів, як тільки код з виходів дешифраторів досягне або перевищить значення, які встановлені на перемикачах. Використання у якості силового комутатора оптоелектронного симістора дозволяє забезпечити гарну розв'язку схеми керування від мережі живлення (рис. 2.17).



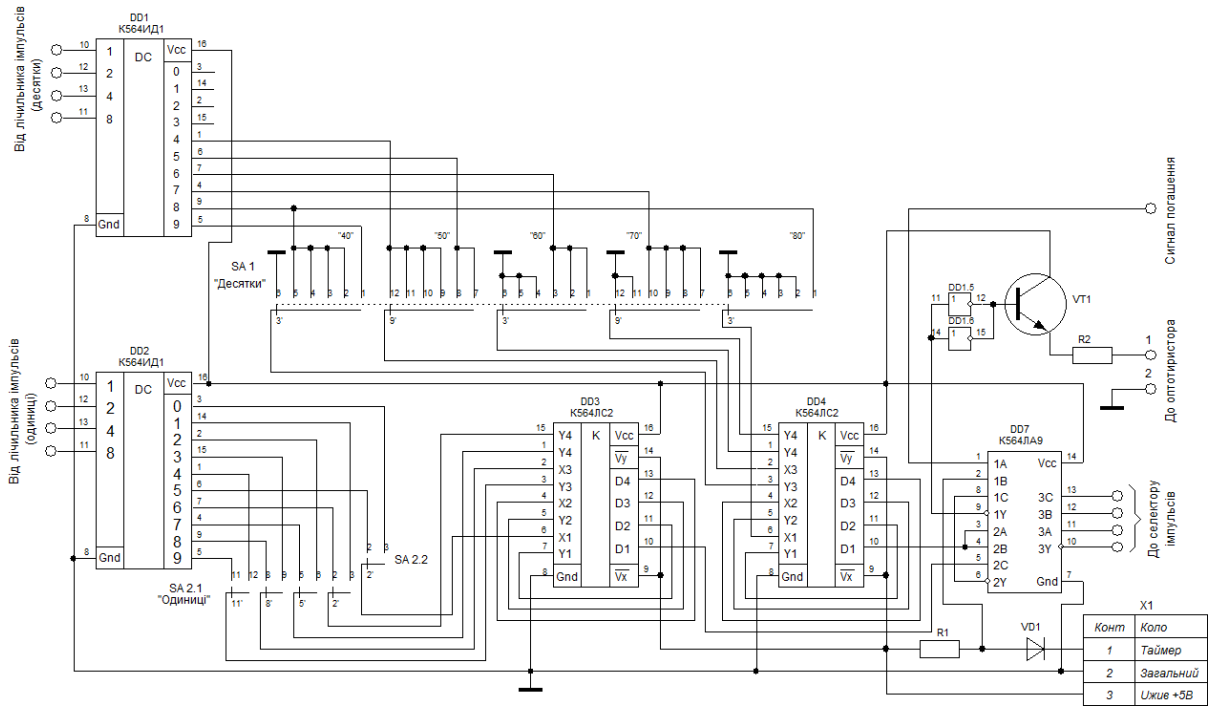


Рисунок 2.16 – Схема управління режимами відпалу

Використання у якості силового комутатора оптоелектронного симістора дозволяє забезпечити гарну розв’язку схеми керування від мережі живлення (рис. 2.17).

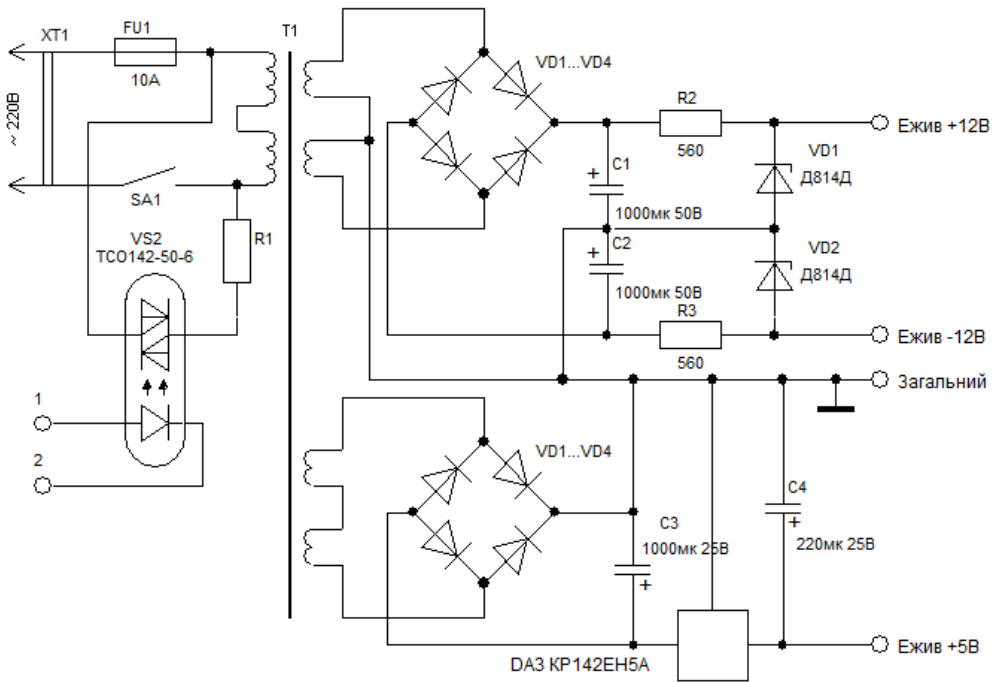


Рисунок 2.17 – Схема силового комутатора та блоку живлення

У процесі виходу термокамери на заданий режим із-за інерційності системи температура у камері може змінюватися (рис. 2.18).

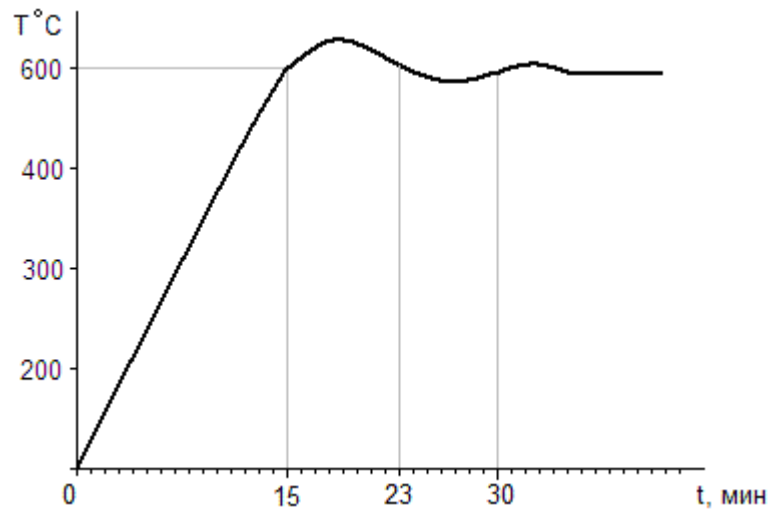


Рисунок 2.18 – Зміна температури в камері при виході на режим

Загальна схема блоку керування з блоком живлення представлена на рисунку 2.19. У встановленому режимі схема забезпечує точність підтримки температури  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Схема передбачає дистанційне керування відключення нагрівача (рівнем логічного «0») від персонального комп'ютера, через роз'єм X1 (від нього таймер може жититися).

#### 2.4 Контроль якості МДН структур після відпалу

Теплова вібрація усуває пошкодження ґратки і активізує упроваджені іони. Сильно пошкоджений шар рекристалізується, повторюючи ґратку розташованих глибше шарів, при температурі близько  $550^{\circ}\text{C}$ . Під час цього процесу майже все упроваджені іони стають електрично активними. Якщо умови були такі, що аморфний шар не утворився, то для усунення пошкоджень ґратки і активації упроваджених іонів потрібна температура порядку  $1000^{\circ}\text{C}$ . При такій температурі профіль розподілу упроваджених іонів із-за дифузії декілька розширюється, але пошкодження ґратки усуваються. Звичайний час відпалу порядку 30 хвилин.

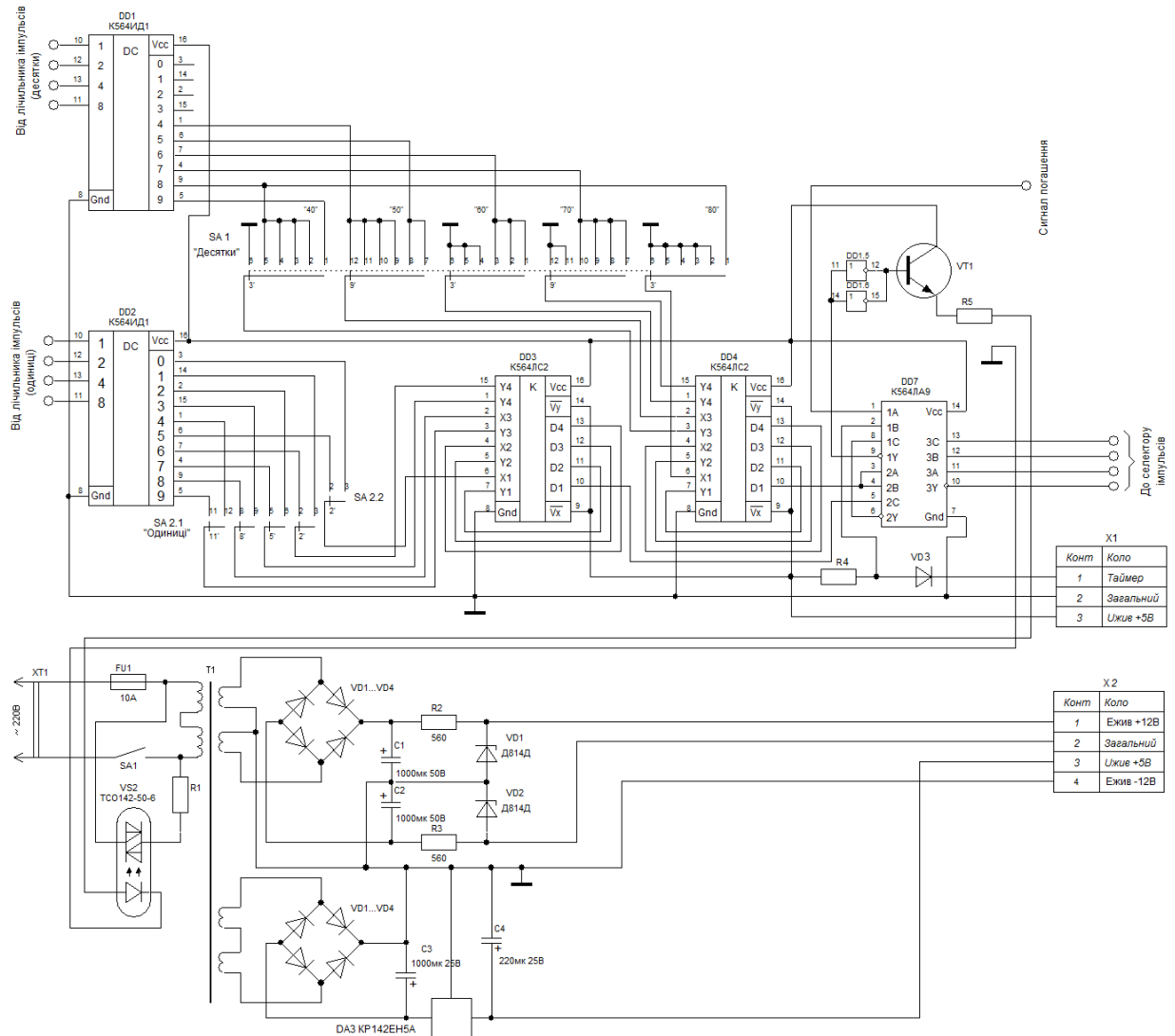


Рисунок 2.19 - Загальна схема автоматизованої мікроелектронної системи управління режимами відпалу

Високолеговані шари приладових структур на основі кремнію характеризується наступними чотирма параметрами:

$N_0$  – поверхнева концентрація домішки;

$N_{oc}$  – концентрація домішки в основі;

$d_0$  – глибина переходу;

$R_s$  – опір шару.

Для контролю якості процесів відпалу необхідно провести відповідні розрахунки і знайти співвідношення між цими параметрами. Експериментальні дані, які найпростіше отримати в процесі виготовлення МДН структур,

це опір шару і глибина залягання переходу. З  $d_0$  і  $R_s$  можна знайти  $N_0$ . Знаючи  $N_0$  і  $N_{oc}$ , можна визначити глибину імплантованого шару.

Ці дані, як правило, знімаються не з епітаксійних пластин, які виготовляються, а із спеціально виготовлених «холостих», або контрольних пластин, які містять ті ж домішки і в тій же концентрації, що і епітаксійні пластини. Контрольні пластини набагато дешевше. Вони можуть бути виготовлені або заздалегідь, або одночасно з епітаксійними пластинами і потім використовуватися для виміру опору шару або глибини переходу.

Якщо питомий опір або питома провідність зразка усюди однакові, то опір обчислюється за формулою

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{l}{\sigma A} \quad (2.1)$$

де  $\rho$  – питомий опір (Ом·см),  $\sigma$  – питома провідність (Ом·см)<sup>-1</sup>. Проте після відпалу залишається вельми нерівномірний розподіл домішки. Це вимушує скористатися середніми значеннями питомого опору і опору шару на поверхні ( $\bar{\rho}$  і  $R_s$ ). Щоб зрозуміти сенс параметра розглянемо шар кремнію прямокутного перетину після іонної імплантації домішки:

$$R = \frac{\rho(x)}{x\omega} = \frac{\rho(x)}{x} \left( \frac{l}{\omega} \right) = R_s \left( \frac{l}{\omega} \right) \quad (2.2)$$

де  $\rho(x)$  – питомий опір як функція відстані від поверхні,  $l$  – довжина,  $\omega$  – ширина,  $R_s$  – опір шару, тобто відношення об'ємного опору до товщини для тонкого рівномірного шару. вимірюється в омах на квадрат (при  $\omega = 1$ ,  $R = R_s$ ). Відношення об'ємного опору до товщині шару не залежатиме від величини квадрата. Тому буде властивістю матеріалу.

Звичайний опір шару заміряється чотирьохзондовим методом. Як правило, чотири голкоподібних електрода притискаються пружинами до кремнієвої пластини і утворюють з нею контакт. Між двома зовнішніми голками пропускається постійний струм, настільки малий, аби уникнути розігрівання із-за опору. Зазвичай струм рівний 1 мА. Різниця потенціалів між зовнішніми електродами вимірюється мостом потенціометра. Аби вивести співвідношен-

ня між питомим опором пластини, струмом і напругою, скористаємося аналогією з електростатичним зарядом.

Розглядатимемо зовнішні електроди як позитивний і негативний заряд, а поверхню напівпровідника будемо вважати площиною симетрії. Визначимо різницю потенціалів на внутрішніх електродах. Отримана рівність знов переведемо на мову струмів і опорів. Після чого питомий опір пластини виразиться формулою

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} \quad (2.3)$$

де  $s$  – відстань між електродами в сантиметрах, а  $I$  і  $V$  – струм і напруга, виміряні чотирьохзондовим методом.

Щоб отримати опір шару опишемо спочатку електростатичну модель. Уявимо, що заряди симетричні відносно нижнього кордону шару. Вимагаючи симетрії відносно верхнього і нижнього кордонів шару, прийдемо до представлення безкінечного ряду уявних зарядів, а це у свою чергу приведе до рішення складнішої задачі. Зазвичай товщина шару  $x$  і відстань між датчиками такі, що  $x \ll s$ . Вважається також, що діод, утворений з'єднанням підкла- дка – шар, має невелике зворотне зміщення завдяки падінню напруги в шарі. За цих умов середній питомий опір шару задається формулою

$$\bar{\rho} = 4,5 \frac{V}{I} x, \quad (2.4)$$

де  $\rho$  вимірюється в ом·см,  $V$  – у вольтах,  $I$  – в амперах, а  $x$  – в сантиметрах. Опір шару рівний

$$R_s = \frac{\bar{\rho}}{x} = 4,5 \frac{V}{I} \text{ Ом/квдрат.} \quad (2.5)$$

Оскільки  $I$  зазвичай рівний 1 мА, то  $R_s$  чисельно дорівнює напрузі в мілівольтах, помноженій на 4,5.

Автоматизований контроль якості МДН структури до и після відпалу з можливістю аналізу параметрів за допомогою ЕОМ виконується на розробленому пристрої (рис. 2.20).

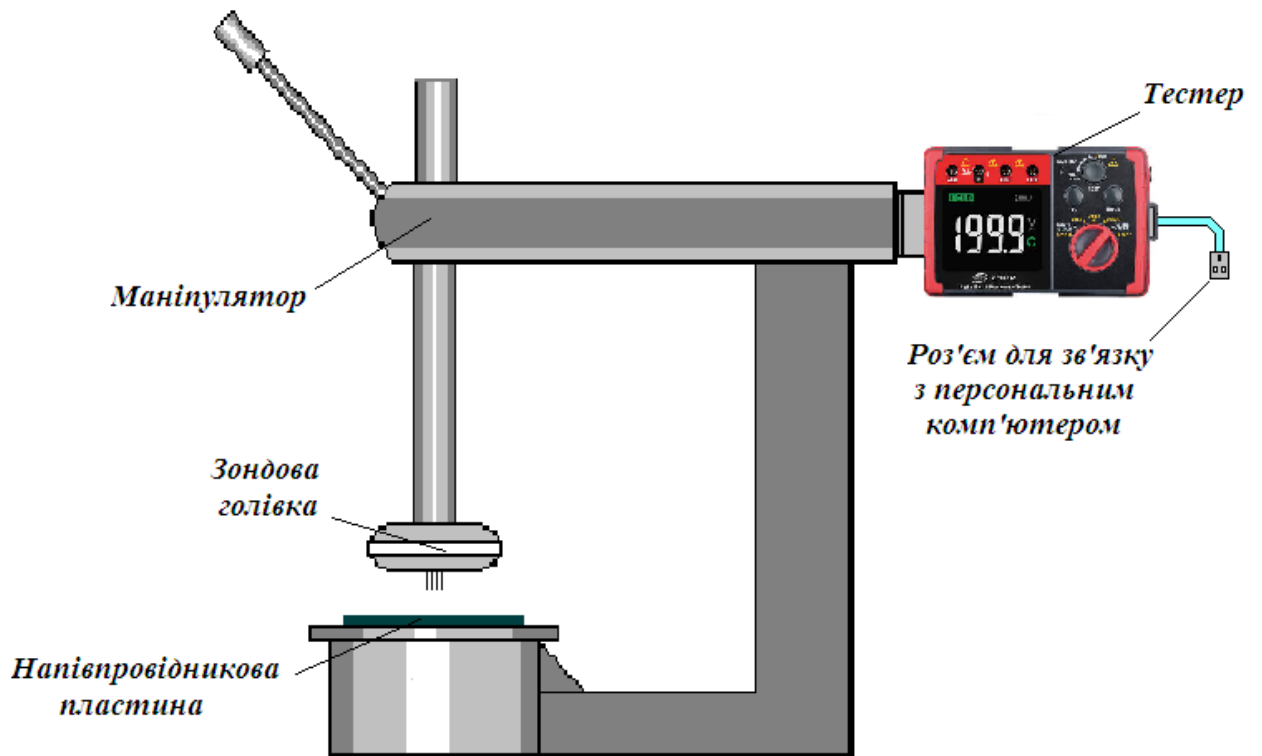


Рисунок 2.20 – Пристрій для контролю параметрів поверхневого шару МДН структур

Розроблена автоматизованої мікроелектронної системи управління режимами відпалу дозволяє з точністю до  $0,5^{\circ}\text{C}$  контролювати температуру міні-печі.

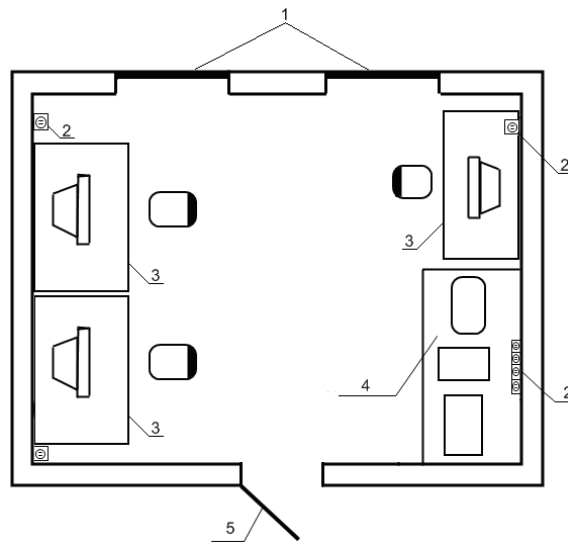
Методика виміру параметрів поверхневого шару МДН структур в процесі технологічної операції відпалу здійснює достатній контроль якості.

### 3 Охорона праці та техногенна безпека

#### 3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Приміщення, в якому знаходиться робоче місце бакалавра, має такі характеристики: довжина приміщення 6.5 м; ширина приміщення 3.7 м; висота приміщення 3.5 м; число вікон 2; число робочих місць 3; освітлення природне (через бічні вікна) і загальне штучне. Загальна площа дорівнює 24.1 кв.м. Тобто на кожне робоче місце припадає по 8 кв.м., що відповідає нормам (не менше 6 кв.м.).

На рисунку 3.1 наведено план розташування робочих місць бакалаврів.



- 1 – вікна;
- 2 – розетка;
- 3 – робоче місце;
- 4 – автоматизована система управління відпалом МДН структур;
- 5 – двері.

Рисунок 3.1 – План розташування робочих місць бакалаврів

На робочому місці бакалавр піддається впливу наступних несприятливих факторів [13]:

- недостатнє освітлення;
- шум від працюючих машин (комп'ютерів, робочих стендів) На даному робочому місці шум непостійний. Джерелом шуму є робочі стенди. Шум діє на робітника протягом 5 годин;
- електромагнітне випромінювання. На робочому місці допустимі рівні електромагнітних випромінювань за електричної та магнітної складових в діапазоні 5...2000 Гц;
- виділення надлишків теплоти. Тепловий поріг починається з  $J = 10 \text{ мВт/см}^2$ ;
- підвищена запиленість.

Розвитку стомлюваності на робочому місці сприяють такі чинники [13]:

- неправильна ергономічна організація робочого місця, нераціональні зони розміщення обладнання по висоті від підлоги, по фронту від осі симетрії. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення, тому велике значення надається характеристикам робочого крісла. Велике значення також надається правильній робочій позі користувача. Істотне значення для продуктивної і якісної роботи на комп'ютері мають розміри знаків, контраст і співвідношення яскравості символів і фону екрану. Під час користування комп'ютером медики радять встановлювати монітор на відстані 50...60 см від очей.

- характер протікання праці. Трудовий процес організований таким чином, що інженер електронщик змушений з перших хвилин робочого дня вирішувати найбільш складні і трудомісткі задачі, у той час як у перші хвилини роботи функціональна рухливість нервових клітин мозку низька. Тому дотримання правильного режиму праці і відпочинку при роботі грає дуже важливу роль.

Важливе значення має чергування праці та відпочинку, зміна одних форм роботи іншими.



Джерела небезпечних та шкідливих чинників на бакалавра [14]:

- рівень шуму в приміщенні протягом робочого дня непостійний (табл. 3.1). При цьому протягом однієї години діє шум з рівнем звуку 83 дБА, протягом наступних двох годинників  $\frac{3}{4}$  з рівнем звуку 86 дБА, останню годину  $\frac{3}{4}$  81 дБА при тому що норматив повинен бути не більше 70 дБА. Основними джерелами шуму є: комп'ютери, робочі стенди. Отже, робоче місце по показнику рівня шуму відноситься до класу умов праці 3.2 – шкідливий.

- основним джерелом електромагнітного випромінювання приміщення є персональні комп'ютери з системними блоками Intel Pentium і моніторами SVGA Samsung, SyncMaster.

Таблиця 3.1 Оцінка чинників виробничого і трудового процесу робочого місця бакалавра

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Пил, переважно фіброгенної дії. мг/м <sup>3</sup>	4	3.9				50
2	Шум, дБА	70	83		13		75
3	Мікроклімат в приміщенні:						
	- температура повітря С°	22-24	18-24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,15-0,2				100
	- відносна вологість повітря %	40-60	45-60				100

### 3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До засобів захисту відносяться: вентиляція, штучне освітлення, звукоізоляція. Існують нормативи, що визначають комфортні умови і гранично допустимі норми запиленості, температури повітря, шуму, освітленості. У системі заходів, що забезпечують сприятливі умови праці, велике місце відводиться естетичним чинникам: оформлення виробничого інтер'єру, обладнання, застосування музики та інші, які мають певний вплив на організм людини. Важливу роль відіграє забарвлення приміщень, яка повинна бути світлою. З метою запобігання або зменшення впливу на працюючих шкідливих і небезпечних виробничих чинників застосовують засоби колективного та індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для [14]:

1) нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

2) нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри). При недоліку природного освітлення необхідно буде користуватися штучним. Як джерела світла при штучному освітленні рекомендується застосовувати переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ;

захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огородження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

3) захисту від шуму, вібрації (огородження, звукоізоляція, віброізоляція). Для зменшення рівня шуму, який перевищує норму в лабораторному приміщенні можна застосовувати оздоблювальні матеріали з шумопоглинаючим ефектом;

- 4) захисту від ураження електричним струмом (різні види огороження, захисне заземлення, автоматичне відключення, дистанційне керування).
- 5) забезпечення недоступності струмоведучих частин досягається ізолюванням струмовідних кабелів і проводів;
- 6) захисту від дії механічних факторів (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, знаки безпеки);
- 7) захисту від хімічних факторів (огороження, герметизація, вентиляція та очищення повітря, дистанційне керування, знаки безпеки);
- 8) захисту від високих і низьких температур навколишнього середовища (огороження, автоматичний контроль і сигналізація, термоізоляція, дистанційне керування).

### 3.3 Виробнича санітарія

Оскільки у приміщенні присутнє лабораторне устаткування, комп'ютери, шафи та робоча документація, то спостерігається деяка запиленість. За нормою запиленість в приміщенні не повинна перевищувати  $4 \text{ мг/м}^3$ , а в даному приміщенні вона складає  $3,9 \text{ мг/м}^3$ .

Для запобігання дещо підвищеної запиленості рекомендується встановлювати витяжні пристрої, а також проводити вологе прибирання лабораторного приміщення, а перед початком і після кожної академічної години навчальних занять, до і після кожного заняття провітрювати приміщення, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Раціональне колірне оформлення приміщення направлено на поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення її продуктивності та безпеки. Забарвлення приміщень впливає на нервову систему людини, його настрої і в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доцільно офарблювати відповідно до кольору технічних засобів. Освітлення приміщення і устаткування має бути м'яким, без блиску.

Зниження шуму, створюваного на робочих місцях лабораторного приміщення внутрішніми джерелами, а також шуму проникаючого зовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі випромінювання можна забезпечити застосуванням пружних прокладок між підставою приладу і опорною поверхнею. Як прокладки використовуються гума, повсть, пробка, різної конструкції амортизатори. Під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми, повсті, завтовшки 6 - 8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин [14].

Таким чином, для зниження шуму, створюваного на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що проникає з зовні необхідно:

- послабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);
- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- застосовувати раціональне розташування обладнання;
- використовувати архітектурно-планувальні і технологічні рішення ізоляцій джерел шуму.

Температура в приміщеннях є одним з провідних чинників, що визначають метеорологічні умови виробничого середовища. Високі температури надають негативну дію на здоров'я людини. Робота в умовах високої температури супроводжується інтенсивним потовиділенням, що приводить до обезводнення організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів, викликає серйозні і стійкі зміни в діяльності серцево-судинної системи, збільшує частоту дихання [14].

При низькій температурі висока відносна вологість збільшує тепловтрати організму в результаті інтенсивного поглинання водяними парами енергії випромінювання людини. Це веде до переохолодження організму – гіпотермії. Низька вологість викликає пересихання слизистих оболонок дихальних шляхів.

В приміщенні нормована температура повітря повинна складати в теплий період 22-24°C (в холодний період 21-23°C), відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря 0,1-0,2 м/с.

Фактичні параметри: температура в теплий період – 18-24 °С, відносна вологість 45-60%, швидкість руху повітря 0,15-0,2 м/с.

У приміщеннях, обладнаних ПЕВМ, повинна проводитися щоденне, вологе прибирання і систематичне провітрювання після кожної години роботи на ПЕВМ. Рівні позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, де розташовані ПЕВМ, повинні відповідати санітарно-епідеміологічним нормативам, що діють.

Недостатнє освітлення робочого місця утрудняє тривалу роботу, викликає підвищене стомлення і сприяє розвитку короткозорості. Дуже низькі рівні освітленості викликають апатію, сонливість, а в деяких випадках сприяють розвитку відчуття тривоги. Таким чином буде доцільно зробити розрахунок фактичної освітленості приміщення [15].

### 3.4 Електробезпека

Електричні установки, до яких відноситься практично все обладнання ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ і іншого устаткування, що опинилося під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизма має правильна організація обслуговування діючих електроустановок, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання ряду організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених діючими "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів" (ПТЕ і ПТБ споживачів) і "Правила установки електроустановок" (ПУЕ) Залежно від категорії приміщення необхідно вжити певних заходів, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники повинні бути виконані з подвійною ізоляцією або напруга живлення їх не повинна перевищувати 42 В. В особливо небезпечних приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинна перевищувати 12 В [15]. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце інженера електронщика, класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою.

Щоб захистити людину від ураження електричним струмом, захисне заземлення має задовольняти ряду вимог, викладених у ПУЕ. Ці вимоги залежать від напруги електроустановок та потужності джерела живлення.

В електроустановках змінного струму напругою до 1000 В у мережі з ізолюваною нейтраллю або ізолюваним виводом джерела однофазного струму опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Важливо відзначити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, тому що забезпечує додаткове заземлення нульового захисного дроту.

### 3.5 Пожежна та техногенна безпека

Пожежі в лабораторному приміщенні становлять особливу небезпеку, тому що пов'язані з великими матеріальними втратами. Характерна особливість лабораторних кімнат - невеликі площі приміщень. Як відомо, пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел запалю-

вання. У даному приміщеннях присутні всі три основні чинника, необхідні для виникнення пожежі.

Горючими компонентами в кімнаті є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання в лабораторному приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів [15].

В сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійній дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості приміщень лабораторних кімнат встановлена категорія пожежної небезпеки В.

Однією з найбільш важливих завдань пожежного захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного обладнання, а також категорію його пожежної небезпеки, будівлі для лабораторного приміщення і частини будівлі іншого призначення, в яких передбачено розміщення ЕОМ, повинні бути 1 та 2 ступеня вогнестійкості [15].

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. В лабораторних приміщеннях застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (ВВК3,5), перевагою яких є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектри-

чні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу. Вогнегасник ОУ5 (ВВК3,5) переносний з місткістю балона 5 літрів (3,5 кілограма), призначений для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більш 10 кВ. В даному приміщенні знаходиться один такий вогнегасник.

З приміщень, на випадок пожежі, має бути передбачена й забезпечена евакуація людей через так звані евакуаційні виходи. Найважливішою вимогою успішної евакуації людей і цінностей є улаштування внутрішніх переходів, пожежних сходів і аварійного освітлення. Виходи вважають евакуаційними, якщо вони ведуть із приміщень:

1) першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;

2) будь-якого поверху, крім першого, в коридор, що веде на сходову клітку, в тому числі через хол. При цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;

3) у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, яке забезпечене виходами, зазначеними в пунктах 1 і 2.

Фактично, лабораторне приміщення має необхідні умови для евакуації людей і цінностей. В будівлі передбачені й забезпечені евакуаційні виходи з приміщення. Коридор веде на сходову клітку, яка має вихід безпосередньо назовні.

### 3.6 Розрахунок штучного освітлення лабораторного приміщення

Для освітленості приміщення з розмірами  $A = 6,5$  м,  $B = 3,7$  м та висотою  $H = 3,5$  м використовуються 2 світильники ОДР з двома люмінесцентними лампами типа ЛБ - 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно рівні  $P_{\text{стелі}} = 70\%$ ,  $P_{\text{стін}} = 50\%$ ,  $P_{\text{підлоги}} = 10\%$ .



Затінювання робочих місць немає. Висота звісу світильника  $h_s = 0$ , висота робочої поверхні над рівнем підлоги  $h_p = 0.8$  м.

Нормативна величина освітленості для відеоплейних терміналів складає  $E_n = 400$  лк [13].

При перевірці відповідності освітленості в приміщенні нормативному рівню, коли відома кількість світильників, ламп, їх тип і потужність. фактичну освітленість в приміщенні визначаємо по формулі:

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k_{зан}}, \text{ (лк)} \quad (3.1)$$

де  $N = 2$  – число світильників, шт.;

$F = 3120$  лм – світловий потік лампи;

$n = 2$  – число ламп в світильнику;

$S$  - площа освітлюваного приміщення;

$z = 1,1$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення для люмінесцентних ламп (відношення  $E_{сер} / E_{мін}$ );

$k_{зан} = 1,5$  – коефіцієнт запас, що враховує зниження освітленості із-за забруднення і старіння лампи ;

$\eta$  – коефіцієнт використання освітлювальної установки.

Для визначення  $\eta$  необхідно знати тип світильника, індекс приміщення і коефіцієнт віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги. Оскільки тип світильника і коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку відомі, то для знаходження  $\eta$  необхідно визначити значення індексу приміщення  $i$  [15].

$$i = \frac{A \cdot B}{h_n \cdot (A + B)} \quad (3.2)$$

де  $A$  і  $B$  - відповідно довжина і ширина приміщення в м;

$h_n$  - висота від робочої поверхні до світильника, визначається висотою приміщення ( $H$ , м) і висотою умовної робочої поверхні ( $h_p = 0.8$  м) по формулі:

$$h_n = H - h_s - h_p = 3.5 - 0 - 0.8 = 2.7 \text{ (м)} \quad (3.3)$$

Підставляємо набуте значення у формулу (3.2) і знаходимо індекс при-  
міщення:

$$i = \frac{6.5 \cdot 3.7}{2.7 \cdot (6.5 + 3.7)} = \frac{24.05}{27.54} = 0.87$$

Підставляємо всі знайдені величини в формулу (3.1):

$$E_\phi = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{11107.2}{39.6825} = 279.9, \text{ (лк)}$$

Оскільки отримана величина  $E_\phi < E_n$  для досягнення нормативної осві-  
тленості необхідно або збільшити кількість світильників, або збільшити по-  
тужність ламп. Порахуємо міру збільшення  $W$ :

$$W = \frac{E_n}{E_\phi} = \frac{400}{279.9} = 1.42 \text{ разів}$$

Тепер можна обчислити необхідну кількість світильників:

$$N_1 = N \cdot W = 2 \cdot 1.43 = 2.84 \text{ шт.}$$

Збільшимо кількість світильників до 3 штук. Тоді

$$E_\phi = \frac{5 \cdot 3120 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{27768}{39.6825} = 699.7, \text{ (лк)}$$

Таким чином, при збільшенні кількості світильників на три штуки фак-  
тична освітленість  $E_\phi$  практично відповідає нормативному значенню освіт-  
леності  $E_n = 400$  лк.

Такий же ефект може бути отриманий при заміні лампи з великим світ-  
ловим потоком. Порахуємо необхідний світловий потік лампи:

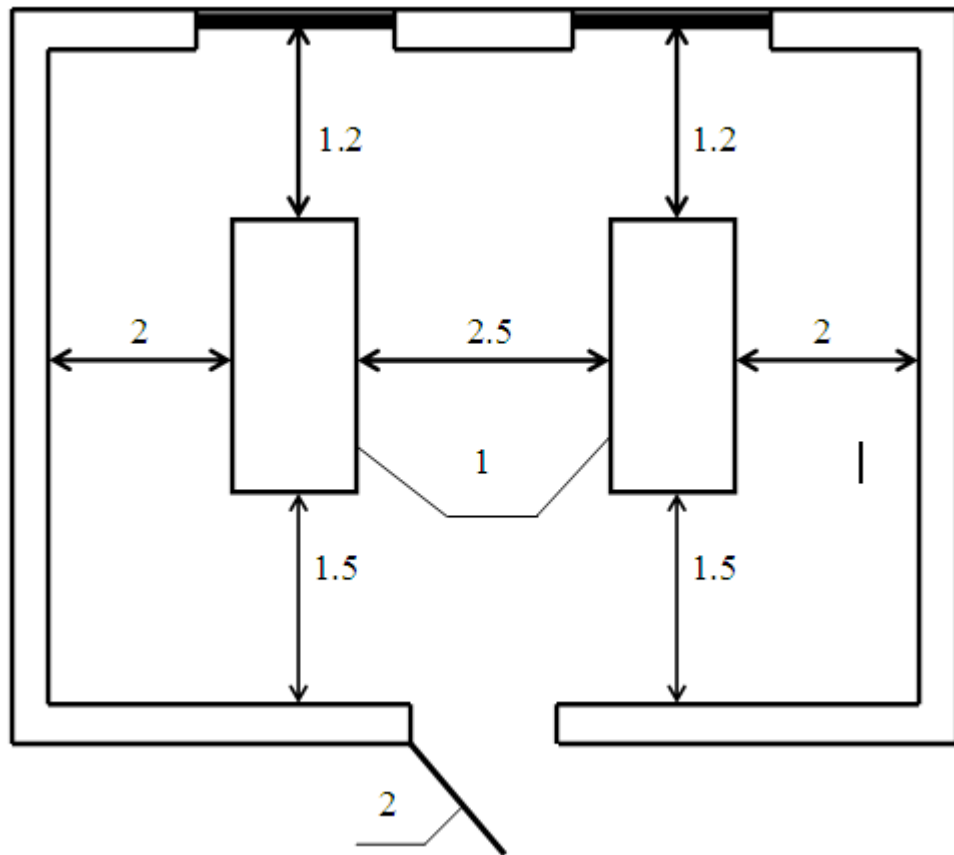
$$F_1 = F \cdot W = 3120 \cdot 1.42 = 4430.4, \text{ (лм)}$$

Так, якщо всі лампи типа ЛБ-40 в приміщенні замінити на лампи типа  
ЛТБ-65 з  $F=3980$  лм  $E_\phi$  буде рівне:

$$E_\phi = \frac{2 \cdot 3980 \cdot 2 \cdot 0.89}{6.5 \cdot 3.7 \cdot 1.1 \cdot 1.5} = \frac{14168.8}{39.6825} = 357, \text{ (лк)}$$

Таким чином, в цьому випадку фактична освітленість також практично  
відповідатиме нормативному значенню.

На рисунку 3.2 представлена схема розташування двох світильників, в кожному з яких знаходиться по дві лампи типу ЛТБ-65.



1 – світильник;

2 – двері

Рисунок 3.2 – План розташування світильників в лабораторному приміщенні

## Висновки та рекомендації

1. Теоретично встановлено, що швидкий ізотермічний відпал електронним пучком дозволяє значно зменшити час термообробки у порівнянні зі стандартним відпалом у печі. При цьому окрім рекристалізації шару вдається мінімізувати міграцію домішок із підкладки в кремнієвий шар, а також добитися обмеження залишкових дефектів.

2. Розроблена автоматизована мікроелектронна система управління режимами відпалу дозволяє точно контролювати температуру міні-печі, а також програмно регулювати технологічні параметри за допомогою ПЕОМ.

3. Представлена методика виміру параметрів поверхневого шару МДН структур в процесі технологічної операції відпалу, за допомогою ПЕОМ, значно підвищує контроль якості.

Рекомендовано використати результати роботи у навчальному процесі підготовки бакалаврів спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка».

## Перелік посилань

1. Левінзон Д.І., Ніконов А.Ю., Зубко Є.І., Небеснюк О.Ю., Ніконова А.О. Апаратурно-технологічні принципи створення високоякісних кремнієвих приладових структур. Нові технології № 4 (38). Науковий вісник КУЕІТУ, 2012. 27 – 30.
2. Sawanoa K., Hoshia Y., Nagakuraa S., Arimotob K., Nakagawab, Usamic N., Shirakia Y. On the origin of the uniaxial strain induced in Si/Ge heterostructures with selective ion implantation technique. J. of Crystal Growth. Vol. 378, 2013. P. 251–253.
3. Бондаренко І.М., Бородін О.В., Галат О.Б., Карнаушенко В.П. Твердотільна електроніка: навч. посібник для студентів ЗВО. Харків : ХНУРЕ, 2020. – 236 с. ISBN 978-966-659-291-3
4. Михайлін В.М. Технологічні основи електроніки. Навчальний посібник для студентів всіх форм навчання ЗДІА спеціальності “Фізична та біомедична електроніка за спрямуванням “Електроніка. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 104 с.
5. Jared J. Encyclopedia of Ion Implantation. NY Research Press, 2015. 170 p.
6. Pogrebniak A. Ion Implantation: Synthesis, Applications and Technology. Nova Science Publishers Inc, 2018. 277 p.
7. Павлов С.М. Основи мікроелектроніки : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 224 с.
8. Левінзон Д.І., Притчин С.Е., Ніконов А.Ю. Удосконалення технології виготовлення приладових  $n+(p+)$  кремнієвих структур методом іонної імплантації. Харків : Всеукраїнська міжвідомча науково-технічна збірка. Вип. 165, 2013. С. 18 – 21.

9. Odinokov V.V. Pavlov G.Ya. New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics. Technology and de-signing in the electronic equipment. V. 3, 2011. P. 41- 43.

10. Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. Основи схемотехніки електронних систем [Підручник]. К. : Вища шк., 2004. 527 с

11. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Стадник Б.И., Гордко М.Т. Температурные измерения: Справочник. Киев : Наук. думка, 1984. 493 с..

12. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка : підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с. ISBN 978-617-685-023-6

13. Кожемякін Г.Б. Рижков В.Г., Белоконь К.В.. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу магістерських робіт для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.

14. Ткачук К.Н. Охрана труда и окружающей среды в радиоэлектронной промышленности. К.: Вища шк., 1988. 240 с.

15. Горобец А.И., Степаненко А.И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности. К. : Техника, 1987. 345 с.