

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до організації самостійної роботи студентів
з дисципліни “Технології мікро- та наноелектроніки”

Освітня програма Комп'ютерне проектування інтегральних схем
Спеціальність 171 Електроніка
Галузь знань 17 Інформаційні технології

Івано-Франківськ
2023

УДК 621.382
М-23

Мандзюк В.І. Методичні вказівки до організації самостійної роботи студентів з дисципліни “Технології мікро- та наноелектроніки” [Електронне видання]. – Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2023. – 32 с.

Рецензент:

Яблонь Л.С. – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики і методики викладання Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника

Затверджено на засіданні кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки (протокол №2 від 5 жовтня 2022 р.)

Схвалено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією фізико-технічного факультету Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (протокол №3 від 17 січня 2023 р.)

Рекомендовано до друку Вченою радою фізико-технічного факультету Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (протокол №5 від 18 січня 2023 р.)

© Мандзюк В.І.

© Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Самостійна та індивідуальна робота студентів	7
1.1. Самостійне опрацювання теоретичного матеріалу	7
1.2. Підготовка до виконання лабораторної роботи	8
1.3. Вибіркові види самостійної та індивідуальної роботи	9
1.3.1. Написання реферату	9
1.3.2. Участь у олімпіадах	9
1.3.3. Участь у наукових дослідженнях	10
2 Методичні рекомендації до виконання плану самостійної роботи	11
Тема 1 Механічна обробка поверхні напівпровідникових пластин для пристроїв інтегральної електроніки	11
Тема 2 Технологія хімічної обробки поверхні напівпровідникових пластин для пристроїв інтегральної електроніки	13
Тема 3 Формування діелектричних плівок на напівпровідникових пластинах	16
Тема 4 Основи літографічних процесів	19
Тема 5 Дифузія в напівпровідниках та методи її проведення	22
Тема 6 Іонна імплантація в технології мікроелектроніки	23
Тема 7 Технологія епітаксійних шарів та методи її проведення	25
Тема 8 Методи одержання тонких плівок	27
Список рекомендованої літератури	30

ВСТУП

На сьогоднішній день мікро- та наноелектроніка є генеральним напрямком розвитку сучасної електроніки, яка, у свою чергу, визначає прискорений розвиток усього суспільства. Це одна з небагатьох сфер виробничої та науково-технічної діяльності людини, в якій зростання технічних показників, якості продукції та економічної ефективності супроводжується зниженням її собівартості. Завдяки досягненням мікроелектроніки спостерігається помітний прогрес у радіоелектроніці, комп'ютерній техніці, інформаційних технологіях, телебаченні, відео- та аудіотехніці, засобах мобільного зв'язку, телекомунікаційних мережах, вимірювальній техніці та в багатьох інших галузях науки і техніки.

Таким чином, курс “Технології мікро- та наноелектроніки” є однією з фундаментальних загальнотехнічних дисциплін в підготовці бакалаврів до виробничих та дослідницьких робіт в галузі створення пристроїв мікро- та наноелектронної техніки.

Метою вивчення навчальної дисципліни “Технології мікро- та наноелектроніки” є розгляд технологічних процесів, що використовуються для виготовлення пристроїв мікро- і наноелектроніки, вивчення основних технологічних маршрутів формування мікроелектронних пристроїв.

Основним **завданням** навчальної дисципліни є ознайомлення студентів з основними технологічними операціями, які використовуються при виготовленні пристроїв інтегральної мікро- та наноелектроніки.

– У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

– – основні технологічні процеси, які використовуються в технології виготовлення мікроелектронних пристроїв, та фізико-хімічні явища, які лежать в основі даних процесів;

– – послідовність проведення технологічних процесів при формуванні мікроелектронних пристроїв;

– – способи формування інтегральних діодів, конденсаторів і резисторів, їх основні параметри та способи ізоляції елементів інтегральних схем;

– – основи технології та послідовність етапів виробництва напівпровідникових приладів на основі біполярних, МОН-, КМОН-транзисторів та інших типів інтегральних мікросхем.

вміти:

– – оптимізувати процеси нанесення матеріалу в магнетронній системі розпилення для одержання тонких плівок бажаної товщини та нерівномірності;

– – розраховувати характеристики розподілу концентрації заданої домішки в кремнії при одностадійній та двохстадійній дифузії для отримання p - n -переходу на заданій глибині і потрібній її поверхневій концентрації;

– – формувати біполярний транзистор з необхідною шириною бази та емітера, використовуючи роздільну дифузію домішок;

– – розрахувати характеристики уповільнення іонів при імплантації та параметри розподілу домішки в кремнії;

– – складати технологічний маршрут формування інтегральних елементів в залежності від його функціонального призначення;

– – самостійно вибирати необхідні електронні прилади при проектуванні елементів, пристроїв автоматики та обчислювальної техніки, використовувати та забезпечити їх грамотне застосування, експлуатацію в сучасній апаратурі.

У результаті вивчення дисципліни “Технології мікро- та наноелектроніки” студенти набувають наступних компетентностей:

Інтегральна компетентність

Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі електроніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів електроніки.

Загальні компетентності

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної

діяльності.

Спеціальні (фахові) компетентності

СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.

СК4. Здатність враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на ефективність та результати інженерної діяльності в галузі електроніки.

СК7. Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструкцій пристроїв та систем електроніки.

За результатами навчання студенти повинні:

Р3. Знаходити рішення практичних задач електроніки шляхом застосування відповідних моделей та теорій електродинаміки, аналітичної механіки, електромагнетизму, статистичної фізики, фізики твердого тіла.

Р5. Використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для вирішення задач проектування та налагодження електронних систем, демонструвати навички програмування, аналізу та відображення результатів вимірювання та контролю.

Р8. Визначати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів при розробці у комп'ютерному середовищі нових складних електронних систем та виборі оптимального рішення.

Р13. Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення; відповідати вимогам гнучкості в подоланні перешкод та досягненні мети, раціонального використання та нормування часу, дисциплінованості, відповідальності за свої рішення та діяльність.

1. Самостійна та індивідуальна робота студентів

1.1. Самостійне опрацювання теоретичного матеріалу

Студенти повинні регулярно опрацьовувати теоретичні питання, передбачені робочою програмою. Для повного засвоєння матеріалу дисципліни необхідним елементом є його самостійне опанування студентами, зокрема, й додаткових теоретичних питань, які не розглядаються на лекціях (табл. 1.1). Опрацювання теоретичних питань, зазначених у табл. 1.1, є обов'язковим видом самостійної роботи студента. Утруднення, що виникають під час самостійного розгляду теоретичних питань, розв'язуються під час індивідуально-консультативних занять, які проводить лектор. Графік індивідуально-консультативних занять складається та доводиться до студентів на початку кожного семестру. Контроль за опрацюванням теоретичних питань, що виносяться на самостійний розгляд, здійснюється шляхом включення цих питань (поряд з теоретичними питаннями, що розглядаються під час лекцій) до екзаменаційних білетів.

Таблиця 1.1

Теми для самостійного опрацювання теоретичного матеріалу

№ теми	Найменування тем, що виносяться на самостійне вивчення	Обсяг годин
Змістовий модуль. Основні технологічні процеси виготовлення пристроїв мікро- і наноелектроніки		
1	Основні методи вирощування монокристалів.	8
2	Напівпровідникові підкладки, особливості підготовки їх поверхні, різновиди забруднень.	8
3	Виробнича гігієна приміщень підприємств мікро- та наноелектроніки.	8
4	Обробка поверхні напівпровідних пластин в рідких і газових середовищах.	8
5	Діелектричні шари та методи їх нанесення.	6

6	Застосування еліонних методів літографії в технології виробництва пристроїв мікро- і наноелектроніки.	6
7	Отримання електронно-діркових переходів методом дифузії.	8
8	Фізико-хімічні процеси в технології нанесення тонких плівок.	8
9	Конструктивно-технологічні характеристики і методи формування корпусів для корпусованих виробів мікро- і наноелектроніки.	8
10	Технологія гібридних товстоплівкових інтегральних мікросхем.	10
11	Технологія гібридних тонкоплівкових інтегральних мікросхем.	8
12	Збиральні процеси у виробництві пристроїв інтегральної електроніки.	8
13	Мікромонтаж пристроїв інтегральної електроніки.	10
14	Герметизація пристроїв інтегральної електроніки і контроль герметичності.	8
15	Забезпечення якості і надійності пристроїв інтегральної електроніки.	8
Разом на самостійну роботу		120

1.2. Підготовка до виконання лабораторної роботи

Підготовка до лабораторної роботи відноситься до обов'язкового виду самостійної роботи студента і виконується студентом до початку лабораторного заняття. Рівень підготовки студента до виконання лабораторної роботи контролюється викладачем, що проводить лабораторні заняття, у формі допуску до лабораторної роботи. Під час отримання допуску студент має знати відповіді на контрольні питання, мету роботи, вміти описати обладнання, що використовується, порядок виконання роботи та обробки результатів

вимірювань. Утруднення, що виникають при підготовці до лабораторної роботи, з'ясовуються з викладачем під час індивідуально-консультативних занять. Студент, що не склав допуску, вважається таким, що є недопущеним до виконання лабораторної роботи, має належним чином підготуватися до її виконання і відпрацювати лабораторну роботу під час індивідуально-консультативних занять.

1.3. Вибіркові види самостійної та індивідуальної роботи.

Студент, що має бажання поглибленого вивчення дисципліни, цікавиться науковою роботою в галузі комп'ютерної електроніки або бажає покращити загальний бал у рейтингу, може виконати додаткові завдання, що відносяться до вибірових видів самостійної та індивідуальної роботи студентів, з наступного переліку: написання реферату, участь в олімпіадах, участь у наукових дослідженнях в галузі електроніки.

1.3.1. Написання реферату.

У семестрі студент має право написати один чи декілька рефератів на тему, яка вказується викладачем, що проводить лекційні заняття. Тема реферату вказується з огляду на необхідність поглиблення знань студента в конкретному розділі електроніки. Студент разом з викладачем формують перелік питань, що мають бути висвітлені у рефераті. Оформлений реферат має бути захищеним після перевірки його змісту викладачем. Захист реферату відбувається під час лабораторного чи індивідуального заняття у формі доповіді на тему, що висвітлюється.

1.3.2. Участь у олімпіадах.

Студенти мають право приймати участь у олімпіадах з дисциплін, що пов'язані з електронікою, які проводяться у вищих навчальних закладах України. У разі, якщо студент приймає участь у відбірному турі олімпіади, він отримує додаткову кількість балів лише за умов здобуття призового місця. У

випадку участі у турах олімпіади, вищих за відбірний, студент обов'язково отримує додаткову кількість балів на підставі документу, що підтверджує його участь в олімпіаді (диплому учасника олімпіади, диплому за отримання призового місця, подяки оргкомітету за участь у олімпіаді тощо).

1.3.3. Участь у наукових дослідженнях.

Студенти, які цікавляться науковою роботою в сфері комп'ютерної електроніки, можуть приймати участь у наукових дослідженнях, що проводяться викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки. Після з'ясування наукових інтересів студента, йому призначають наукового керівника з числа тих викладачів кафедри, які займаються дослідженнями за науковим напрямком, близьким до того, що цікавить студента. Додаткові бали студент отримує наприкінці кожного семестру за результатами відгуку наукового керівника про роботу студента, або ж на підставі прийнятої до друку статті, доповіді на науковій конференції, співавтором яких є студент, тощо.

2. Методичні рекомендації до виконання плану самостійної роботи

Тема 1. Механічна обробка поверхні напівпровідникових пластин для пристроїв інтегральної електроніки.

1. Типи і основні характеристики підкладок.
2. Структура підкладок та їх маркування.
3. Різання злитків і пластин.
4. Шліфування і полірування пластин.
5. Скрайбування і розламування пластин.
6. Основні методи вирощування монокристалів (**самостійна робота**).
7. Напівпровідникові підкладки, особливості підготовки їх поверхні, різновиди забруднень (**самостійна робота**).

Контрольні запитання до теми

1. Що називається підкладкою (пластиною)? Які функції виконує підкладка? Що являє собою реальна поверхня підкладки і для чого потрібно проводити її обробку?
2. Якою є послідовність технологічної обробки підкладок?
3. Як позначаються площини, напрямки, сімейство еквівалентних площин і напрямків?
4. Назвіть методи, які використовуються для орієнтації злитків і пластин? Вкажіть способи різання злитків?
5. З якою метою використовується шліфування? Назвіть його види.
6. Яке призначення полірування в технології мікроелектроніки? Назвіть його види.
7. З якою метою використовується скрайбування в технологіях мікроелектроніки? Вкажіть його види. Переваги і недоліки.
8. Назвіть способи розламування пластин на кристали.

Контрольні запитання до теми

1. Для чого використовується хімічна обробка поверхні пластин? Що належить до хімічної обробки?
2. Які основні стадії процесу травлення виділяють? Від чого залежить швидкість розчинення поверхні пластин?
3. Назвіть види забруднення поверхні.
4. Які існують способи очищення поверхні кремнієвих пластин? У чому полягає їх суть?
5. Як захистити очищені пластини від подальших забруднень?
6. Що лежить в основі термохімічного процесу обробки пластин? У чому його особливість? Назвіть плюси і мінуси термохімічного травлення.
7. Поясніть особливості методу іонно-плазмового травлення. Вкажіть його плюси і мінуси, побічний ефект.

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Отримання достатньо рівних поверхонь пластин без порушених шарів, а також селективне видалення необхідних областей кремнію здійснюються з допомогою ... обробки.

- | | |
|--------------|---------------|
| А) термічної | Б) механічної |
| В) хімічної | Г) лазерної |

2. Швидкість процесу травлення кремнію:

- | | | |
|--|--|----------------|
| А) спочатку зменшується, а потім зростає | Б) визначається стадією процесу | найшвидшою |
| В) визначається стадією процесу | Г) не залежить від швидкості кожної стадії процесу | найповільнішою |

3. Властивості поверхні матеріалу відрізняються від властивостей об'єму речовини внаслідок того що ... існує ... заряд.

- | | |
|--|---------------------------------|
| А) на поверхні, скомпенсований | Б) на поверхні, некомпенсований |
| В) в об'ємі, нерівномірно розподілений | Г) в об'ємі, некомпенсований |

4. При хімічному травленні шорсткої поверхні кремнієвої підкладки:

- А) швидкість розчинення у западинах вища, ніж на вершинах
Б) швидкість розчинення на вершинах вища, ніж у западинах
В) швидкість розчинення не залежить від геометрії поверхні
Г) швидкість розчинення на вершинах і у западинах однакова

5. Метод хімічного травлення, при якому швидкість травлення не залежить від кристалографічної орієнтації кремнієвої пластини, називається ... травленням.

- А) ізотропним
Б) плазмохімічним
В) селективним
Г) анізотропним

6. Відмінність швидкостей травлення кремнію у різних кристалографічних площинах обумовлена:

- А) хімічним складом травника
Б) різною густиною упаковки атомів у цих площинах
В) однаковою густиною упаковки атомів у цих площинах
Г) температурою травлення

7. Домішки, які відносяться до хімічного виду забруднень, утримуються на поверхні за рахунок:

- А) електростатичних сил
Б) слабких адсорбційних сил
В) сил ядерної взаємодії
Г) сильних хімічних і хемосорбційних зв'язків

8. Очищення в парах органічних розчинників ефективно тільки:

- А) за наявності малої кількості забруднень
Б) при великій кількості забруднень
В) сильних пошкодженнях поверхні підкладки
Г) після відмивання в деіонізованій воді

6. Назвіть способи окислення Si при високих температурах. Вкажіть їх недоліки і переваги.

7. Назвіть стадії механізму окислення кремнію. Яка стадія лімітує швидкість реакції окислення? Вкажіть обмеження і недоліки термічного окислення.

8. Чим пояснюється простота процесу хімічного осадження?

9. Які реакції використовуються для хімічного осадження?

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Такі вимоги як, селективність по відношенню до тих чи інших технологічних факторів; відсутність пор і тріщин; рівномірність товщини, структури і фізико-хімічних властивостей за площею і глибиною маски; хороша адгезія до пластини, висуваються до діелектричних плівок, які виконують функцію:

А) ізоляції

Б) маски

В) буферного шару

Г) підзатворного діелектрика

2. Особливо високою чистотою і досконалістю (рівномірністю) структури, повною відсутністю яких-небудь пор, тріщин, сколів та інших порушень повинна володіти діелектрична плівка, яка виконує роль:

А) маски

Б) ізоляції

В) буферного шару

Г) підзатворного діелектрика

3. Між швидкостями отримання плівки діоксиду кремнію у вологому (wet) і сухому (dry) кисні існує наступне співвідношення:

А)

$$v_{wet} < v_{dry}$$

Б)

$$v_{wet} \approx v_{dry}$$

В)

$$v_{wet} \ll v_{dry}$$

Г)

$$v_{wet} > v_{dry}$$

4. Швидкість взаємодії кремнію з киснем в середовищі сухого кисню описується реакцією виду:

A)	$j = KC_m$	Б)	$j = \frac{C_m}{K}$
В)	$j = K\sqrt{C_m}$	Г)	$j = KC_m^2$

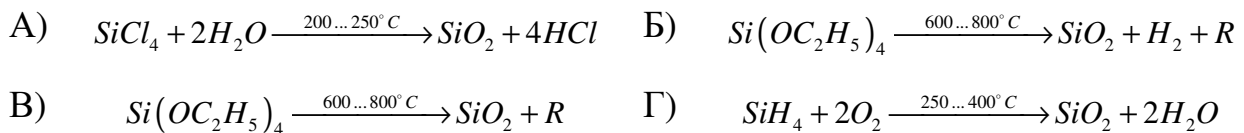
5. Для малих часів окиснення закон окиснення має наступний характер:

A)	$x_{SiO_2} = B(t + \tau)$	Б)	$x_{SiO_2}^2 = B(t + \tau)$
В)	$x_{SiO_2} = \frac{B(t + \tau)}{A}$	Г)	$x_{SiO_2}^2 = \frac{B(t + \tau)}{A}$

6. Гіршими електричними і захисними властивостями володіють плівки, вирощені в середовищі:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| A) вологого, а потім сухого кисню | Б) сухого кисню |
| В) вологого кисню | Г) сухого, а потім вологого кисню |

7. При хімічному осадженні діелектричних плівок реакція піролізу має вигляд:



8. Формування плівок Si_3N_4 прямим азотуванням пластин кремнію практично не застосовується через:

- | | |
|--|--|
| A) низькі температури і надзвичайно малі швидкості процесу | Б) низькі температури і надзвичайно високі швидкості процесу |
| В) високі температури і надзвичайно високі швидкості процесу | Г) високі температури і надзвичайно малі швидкості процесу |

9. З точки зору дефектності найкращими є діелектричні шари, вирощені ..., а найгіршими – отримані... .

- А) термічним окисненням на вільних від дефектів підкладках, анодним окисненням в розчинах електролітів без подальшої термічної обробки
- Б) термічним окисненням на вільних від дефектів підкладках, катодним окисненням в розчинах електролітів з подальшою термічною обробкою
- В) хімічним окисненням на дефектних підкладках, анодним окисненням в розчинах електролітів без подальшої термічної обробки
- Г) анодним окисненням в розчинах електролітів без подальшої термічної обробки, хімічним окисненням на вільних від дефектів підкладках

Тема 4. Основи літографічних процесів.

1. Загальні поняття про фотолітографію.
2. Фоторезисти та їх основні характеристики.
3. Основні операції фотолітографічного процесу.
4. Застосування еліонних методів літографії в технології виробництва пристроїв мікро- і наноелектроніки. (самостійна робота).

Контрольні запитання до теми

1. З якою метою використовуються літографічні процеси? Назвіть види літографії?
2. Що називається фотолітографією? Якою є послідовність процесу фотолітографії?
3. Що являють собою резисти? Які розрізняють види фоторезистів щодо взаємодії із світловим випромінюванням.
4. Вкажіть переваги фотолітографічного процесу. Назвіть основні параметри і характеристики фоторезистів.
5. Назвіть методи нанесення фоторезисту. Вкажіть їх переваги та недоліки.
6. Які способи використовуються для сушіння фоторезистів?
7. Проаналізуйте відмінності між процесом фотолітографії та еліонними методами літографії.

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Фотолітографія, як це сукупність фотохімічних процесів, серед яких можна виділити три основних етапи:

- | | |
|---|---|
| А) формування на поверхні матеріалу шару діоксиду кремнію; передавання зображення з шаблону на цей шар; формування конфігурації елементів пристроїв за допомогою маски з діоксиду кремнію | Б) формування на поверхні матеріалу шару фоторезистора; передавання зображення на цей шар; формування конфігурації елементів пристроїв за допомогою маски з фоторезистора |
| В) формування на поверхні матеріалу шару фоторезисту; передавання зображення з шаблону на цей шар; формування конфігурації елементів пристроїв за допомогою маски з фоторезисту | Г) формування на поверхні матеріалу шару фоторезисту; передавання зображення з цього шару на шаблон; формування конфігурації елементів пристроїв за допомогою маски з фоторезисту |

2. Фоторезисти, розчинність яких після опромінювання зростає, називаються:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| А) селективними | Б) позитивними |
| В) негативними | Г) нейтральними |

3 Квантовий вихід – це:

- | | |
|---|--|
| А) здатність молекул до фотохімічного перетворення, який рівний відношенню кількості поглинутих квантів до кількості молекул, що прореагували | Б) здатність молекул до фотохімічного перетворення, який рівний відношенню кількості молекул, що прореагували, до кількості випромінених квантів |
|---|--|

- В) здатність молекул до фотохімічного перетворення, який рівний кількості молекул, що прореагували під дією поглинутих квантів
- Г) здатність молекул до фотохімічного перетворення, який рівний відношенню кількості молекул, що прореагували, до кількості поглинутих квантів

4. Роздільна здатність фоторезисту – це:

- А) максимальна кількість ліній різної ширини, розділених проміжками тієї ж ширини, яку можна одержати в фоторезисті на 1 мм
- Б) мінімальна кількість ліній однакової ширини, розділених проміжками тієї ж ширини, яку можна одержати в фоторезисті на 1 мм
- В) максимальна кількість ліній однакової ширини, розділених проміжками тієї ж ширини, яку можна одержати в фоторезисті на 1 мм
- Г) максимальна кількість ліній однакової ширини, розділених проміжками тієї ж ширини, яку можна одержати в фоторезисті на 1 см

5. Мінімальний розмір світлової плями при опроміненні тіла визначається рівністю:

- А) $R_0 \approx \sqrt{\frac{\lambda}{A}}$
- Б) $R_0 \approx \frac{\lambda}{A}$
- В) $R_0 \approx \frac{A}{\lambda}$
- Г) $R_0 \approx \frac{\lambda}{\sqrt{A}}$

6. До еліонних методів літографії належать:

- А) іонно-променева, рентгенівська, електронно-променева
- Б) іонно-променева, ультрафіолетова, електронно-променева
- В) електронно-променева, іонно-променева, з використанням гамма-квантів
- Г) інфрачервона, рентгенівська, електронно-променева

Тема 5. Дифузія в напівпровідниках та методи її проведення.

1. Фізичні процеси, що відбуваються в процесі дифузії домішки в напівпровідниках.
2. Методи проведення дифузії.
3. Отримання електронно-діркових переходів методом дифузії (**самостійна робота**).

Контрольні запитання до теми

1. З якою метою використовуються дифузійні процеси в мікроелектроніці?
2. Назвіть основні закони, якими описується процес дифузії в твердих тілах.
3. Якою є температурна залежність коефіцієнта дифузії? Як з допомогою даної залежності можна визначити енергію активації домішки та сталу D_0 ?
4. Вкажіть основні методи проведення дифузії та дайте їм коротку характеристику. Назвіть основні відмінності між ними.
5. Які існують джерела домішки при проведенні дифузійних процесів?

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Процес переміщення атомів домішки в кристалічній ґратці під впливом теплового руху називається:

- | | |
|-----------------|---------------|
| А) окисленням | Б) епітаксією |
| В) імплантацією | Г) дифузією |

2. Перший закон Фіка для одномірної дифузії записується у вигляді:

- | | |
|--|--|
| А) $j = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}$ | Б) $j = D \frac{\partial N}{\partial x}$ |
| В) $j = D \frac{\partial x}{\partial N}$ | Г) $j = \frac{1}{D} \frac{\partial N}{\partial x}$ |

3. Температурна залежність коефіцієнта дифузії має вигляд:

- A) $D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$ Б) $D = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$
В) $D = D_0 \ln\left(-\frac{E_a}{kT}\right)$ Г) $D = \frac{E_a}{D_0} \exp\left(-\frac{1}{kT}\right)$

4. Розподіл концентрації домішки за глибиною при дифузії з джерела нескінченної потужності описується:

- A) законом Гаусса Б) функцією доповнення похибки до 1
В) квадратичним законом Г) логарифмічним законом

5. Дифузія з джерела скінченної потужності називається стадією:

- A) підгонки Б) загонки
В) розгонки Г) прогонки

6. Енергія, необхідна атому для подолання потенціального бар'єру при дифузії, називається енергією:

- A) сублімації Б) активації
В) трансформації Г) конденсації

Тема 6. Іонна імплантація в технології мікроелектроніки.

1. Фізичні основи імплантаційних процесів.
2. Методи проведення іонної імплантації.

Контрольні запитання до теми

1. Яке призначення іонної імплантації в інтегральній мікроелектроніці?
2. Які види дефектів виникають при впровадженні імплантованих іонів в тверде тіло і яким чином їх можна позбавитися?
3. Як взаємодіє імплантований іон з твердим тілом і якими параметрами описується даний процес?

4. Назвіть основні параметри, якими описується рух імплантованого іона в середині твердого тіла.

5 Які установки використовуються для проведення імплантації іонів в напівпровідникові матеріали?

6. Вкажіть, які, на вашу думку, існують переваги іонної імплантації над дифузією як методами легування напівпровідникових структур.

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Іонною імплантацією називається:

- А) спосіб введення атомів домішок у приповерхневий шар пластини або плівки шляхом дифузії під дією високою температури
- Б) бомбардування поверхні пластини чи епітаксійної плівки атомами домішки під впливом електричного поля
- В) спосіб введення атомів домішок у приповерхневий шар пластини або епітаксійної плівки шляхом бомбардування його поверхні пучком іонів домішки з високою енергією
- Г) спосіб розпилення приповерхневого шару мішені за рахунок його бомбардування іонами інертних газів

2. Імплантовані іони втрачають свою енергію при взаємодії з ядрами атомів внаслідок ... зіткнень.

- А) пружних
- Б) пластичних
- В) аномальних
- Г) непружних

3. Дефект Шотткі являє собою:

- А) міжвузловий атом
- Б) домішковий атом
- В) лінійну дислокацію
- Г) вакансію

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Епітаксією називається процес осадження ... плівки на ... підкладку, при якому кристалографічна орієнтація шару, який осаджують, ... кристалографічну орієнтацію підкладки.

- А) полікристалічної, монокристалічної, монокристалічну, не повторює
Б) монокристалічної, монокристалічну, повторює
В) полікристалічної, полікристалічної, полікристалічну, не повторює
Г) монокристалічної, полікристалічну, повторює

2. Якщо підкладка і шар складаються з різних речовин, то процес епітаксії називають:

- А) хеміепітаксійним
Б) автоепітаксійним
В) гетероепітаксійним
Г) моноепітаксійним

3. По відношенню до епітаксії невідповідність кристалічних решіток може бути визначена як:

- А) $d = \frac{a_i + b_i}{a_i - b_i}$
Б) $d = \frac{a_i}{a_i - b_i}$
В) $d = \frac{a_i - b_i}{a_i + b_i}$
Г) $d = \frac{a_i - b_i}{a_i}$

4. Результат пристосування міжатомних відстаней нарощуваного кристала до міжатомних відстаней підкладки називається явищем:

- А) антиморфізму
Б) автоморфізму
В) псевдоморфізму
Г) поліморфізму

5. Технологія кремній-на-сапфірі, де на сапфіровій підкладці вирощується епітаксійний шар кремнію, дозволяє досягти:

- А) високої густини упаковки елементів з хорошою ізоляцією без паразитних зв'язків
Б) високої густини упаковки елементів з хорошою ізоляцією з паразитними зв'язками

- В) низької густини упаковки Г) середньої густини упаковки
елементів з хорошою ізоляцією з елементами з поганою ізоляцією без
паразитними зв'язками паразитних зв'язків

6. Метод, який полягає у випаровуванні напівпровідника з рідкої фази і наступній його кристалізації на поверхні розігрітої підкладки, розміщеної поблизу від джерела, називається:

- А) сублімацією Б) катодним розпиленням
В) плазмовим осадженням Г) методом молекулярних пучків у вакуумі

7. Метод, який полягає у взаємодії кількох молекулярних пучків з нагрітою монокристалічною підкладкою з осадженням на ній елементарних компонентів, називається ... епітаксією.

- А) газофазною Б) рідкофазною
В) твердофазною Г) молекулярно-променевою

8. Процес легування плівки за рахунок дифузії атомів домішки з підкладки називають:

- А) іонною імплантацією Б) автолегуванням
В) хімічним легуванням Г) гетеролегуванням

Тема 8. Методи одержання тонких плівок.

1. Термовакuumний метод одержання тонких плівок.
2. Імпульсне нанесення плівок.
3. Одержання плівок з іонізованих потоків багатоатомних частинок методами іонного осадження.
4. Фізико-хімічні процеси в технології нанесення тонких плівок (самостійна робота).

5. Технологія гібридних товстоплівкових інтегральних мікросхем (самостійна робота).

6. Технологія гібридних тонкоплівкових інтегральних мікросхем (самостійна робота).

Контрольні запитання до теми

1. Вкажіть, які фізичні принципи лежать в основі термовакuumного методу одержання тонких плівок.

2. Назвіть методи, за допомогою яких відбувається імпульсне нанесення тонких плівок.

3. Охарактеризуйте методи, які лежать в основі одержання тонких плівок з іонізованих потоків багатоатомних частинок.

Типові тестові завдання для самоперевірки знань студента

1. Метод, який полягає в нагріванні у вакуумі матеріалу до температури випаровування, утворенні пари та конденсації її на підкладці, відноситься до ... методів одержання тонких плівок.

А) термовакuumних

Б) імпульсних

В) іонно-плазмових

Г) імплантаційних

2. Висока швидкість розпилення матеріалу в магнетронній системі розпилення досягається:

А) високою температурою розпилення матеріалу

Б) низьким вакуумом у системі розпилення

В) ефективною системою охолодження

Г) високою густиною іонного струму на мішень

3. Коефіцієнт розпилення S характеризує ефективність розпилення і визначається виразом:

Список рекомендованої літератури

Базова

1. М.М. Погребняк, В.П. Прищеп. Мікроелектроніка: ч. 1. – К.: Вища школа, 2004. – 431 с.
2. С.П. Новосядлий. Суб - і наномікронна технологія структур великих інтегральних схем: монографія. – Івано-Франківськ: Місто-НВ, 2010. – 456 с.
3. Л. Ткачук, Р. Закалик. Основи мікроелектроніки. – Тернопіль: Медап, 1998. – 350 с.
4. С.П. Новосядлий. Фізико-технологічні основи субмікронної технології великих інтегральних схем. – Івано-Франківськ: Сімик, 2003. – 352 с.
5. В.І. Мандзюк, І.Т. Когут. Фізико-технологічні основи мікросистемної техніки. – Івано-Франківськ: Нова зоря, 2008. – 154 с.
6. М.Г. Находкін, Д. І. Шека. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: підручник. Рек. МОН. – К.: Київський ун-т, 2005. – 431 с.
7. А.О. Дружинін. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навчальний посібник. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 332 с.
8. П.Г. Стахів. Основи мікроелектроніки: функціональні елементи їх застосування: підручник. – Львів: 2003 – 208 с.
9. М.Є. Лещенко, В.Є. Овчаренко. Основи мікроелектроніки. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2005.
10. М.М. Прищеп, В.П. Погребняк. Мікроелектроніка. Елементи мікросхем. – К.: Вища школа, 2005.
11. В.А. Скаржена, А.Н. Луценко. Электроника и микроэлектроника. Часть 1. – К.: Вища школа, 1991.
12. С.М. Павлов. Основи мікроелектроніки: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 224 с.
13. Технология интегральной электроники: учебное пособие / Л.П. Ануфриев, С.В. Бордусов, Л.И. Гурский и др. / Под общ. ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск: Интегралполиграф, 2009. – 379 с.

Додаткова

14. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник /Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. А.Г.Соскова. – 2-е вид. Рек МОН. – К.: Каравела, 2009. – 416 с.

15. И.П. Степаненко. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 488 с.

16. Т.И. Данилина, К.И. Смирнова. Технологические процессы микроэлектроники: Технология ЭВС – 1: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2005. – 223 с.

17. М.Ф. Жаркой. Технологические основы производства полупроводниковых интегральных схем: учебное пособие. – СПб.: Балтийский гос. тех. ун-ет, 2016. – 123 с.

УДК 621.382
М-23

Володимир Ігорович Мандзюк

Методичні вказівки до організації самостійної роботи студентів з дисципліни “Технології мікро- та наноелектроніки” [*Електронне видання*] / Мандзюк В.І. – Івано-Франківськ, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2023. – 32 с.

.....

76018, м. Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника