

**ПРОГРАМА**  
вступного іспиту зі спеціальності  
**153 «Мікро- та наносистемна техніка»**  
для вступників на навчання в аспірантурі

**1. Фізика матеріалів мікро-та наносистемної техніки**

Природа хімічного зв'язку в напівпровідниках. Структура кристалів. Дефекти в кристалах. Властивості основних монокристалічних матеріалів мікро- та наносистемної техніки.

Зонна теорія твердого тіла. Енергетичні спектри електронів у металах, напівпровідниках, діелектриках. Зона провідності і валентна зона. Власні та домішкові на-півпровідники. Роль донорних та акцепторних домішок.

Основи статистичної фізики. Функція розподілу Фермі-Дірака. Концентрація електронів і дірок у зонах. Температурні залежності. Розподіл Больцмана. Критерій виродження електронного газу.

Рекомбінація носіїв. Рекомбінація "зона-зона" і рекомбінація через домішки і дефекти. Дифузійна довжина і час життя носіїв. Поверхнева рекомбінація.

Електропровідність напівпровідників. Носії заряду в слабкому електричному полі. Взаємодія з фононами, домішковими атомами, дефектами. Рухливість електронів і дірок. Умова електронейтральності. Носії заряду в сильному електричному полі. Лавинне помноження в напівпровідниках. Електричні домени і струмові шнури.

Рівняння для густини електричного струму в напівпровідниках. Рівняння неперервності. Рівняння Пуассона.

Електроно-дірковий (р-п) перехід. Інжекція і екстракція неосновних носіїв заряду. Вольт-амперна характеристика р-п переходу. Струми носіїв заряду в р-п переході. Генерація та рекомбінація носіїв у р-п переході. Бар'єрна і дифузійна ємності. Пробіи р-п переходу: тепловий, лавинний, тунельний.

Гетеропереходи. Контакт метал-напівпровідник. Омичний і випрямляючий переходи Шотткі.

Поверхневі стани. Структури метал-діелектрик-напівпровідник (МДН). Польовий ефект у МДН-структурах. Ємність МДН-структур.

Теплопровідність напівпровідників. Термоелектричні явища. Ефект Холла.

Поглинання випромінювання у напівпровідниках. Власне та домішкове поглинання випромінювання, поглинання екситонами та вільними носіями. Фотопровідність. Спектральні характеристики фотопровідності. Інші види внутрішнього фотоэффекту.

Ефекти випромінювання у напівпровідниках. Прямі та непрямі переходи носіїв заряду. Види люмінесценції: інжекційна, катодо-, фотолюмінесценція. Електролюмінесценція порошкових та плівкових напівпровідників. Основні матеріали оптоелектроніки: сполуки  $A^IVB^5$  і  $A^IVB^6$ .

Електро-, магніто- і акустооптичні ефекти в твердих тілах.

## 2. Прилади мікро-та наносистемної техніки

Напівпровідникові діоди. Основні параметри і характеристики діодів, їх залежність від температури і режиму. Випрямляючі та імпульсні діоди. Діоди з накопиченням заряду.. Стабілітрони. Тунельні та обернені діоди. Лавинно-пролітні діоди. Діоди Шоттки.

Біполярні транзистори. Структура і принцип дії. Розподіл носіїв у областях транзисторів. Основні параметри і характеристики транзисторів, їх залежність від температури і режиму. Імпульсні і частотні властивості транзисторів. Робота транзисторів при високому рівні інжекції. Пробій транзистора і перекриття переходів. Шуми в транзисторах. СВЧ-транзистори.

Тиристри, принцип їх дії і класифікація. Основні параметри і характеристики.

Польові транзистори МДН, з р-п переходом і з бар'єром Шоттки. Принцип дії. Модуляція глибини каналу. Основні параметри і характеристики польових транзисторів. Частотні та імпульсні властивості польових транзисторів. МДН транзистори з індукованим та вбудованим каналами. МДОН-структури.

Інтегральні мікросхеми. Елементи ІС: транзистори, конденсатори, конденсатори в складі ІС. Класифікація ІС за конструктивно-технологічними та функціональними ознаками. Цифрові і аналогові ІС. Напівпровідникові ЗП і мікропроцесори.

Прилади з зарядовим зв'язком. Принцип дії. Основні параметри і області застосування.

Способи опису електромагнітного випромінювання. Світлові промені. Принцип Ферма. Електромагнітні хвилі. Рівняння Максвелла. Фотон і його властивості. Інтерференція і дифракція світла. Квантові переходи при взаємодії з електромагнітним випромінюванням. Матричний елемент переходу і його ймовірність. Спонтанне і вимушене випромінювання. Коефіцієнти Ейнштейна. Дипольне випромінювання. Поширення світла в матеріальному середовищі. Оптична характеристика речовини. Комплексний показник заломлення. Показник поглинання. Фазова і групова швидкість світла. Дисперсія. Співвідношення Крамерса-Кроніга.

Проходження світла через межу розподілу двох середовищ. Формули Френеля. Повне внутрішнє відбивання. Рефракція світла в тонких шарах. Хвилеводи. Діелектричний хвилевод. Планарні хвилеводи. Зв'язок між хвилеводами. Основи оптичного узгодження. Оптика анізотропних середовищ. Тензор діелектричної проникливості. Оптична індикатриса. Природне і штучне променезаломлення. Електрооптичні, магнітооптичні, п'єзооптичні і акустооптичні ефекти. Нелінійна поляризованість кристалу і нелінійні оптичні ефекти.

Види люмінесценції. Люмінесценція в напівпровідниках. Типи рекомбінаційного випромінювання в напівпровідниках. Зсув між спектром поглинання і спектром люмінесцентного випромінювання. Вплив поля на люмінесценцію в напівпровідниках.

Оптоелектронні прилади. Призначення і області застосування. Фотоприймачі: фотодіоди, фототранзистори, фоторезистори, лавинні фотодіоди. Основні параметри і характеристики: фоточутливість, виявна здатність, швидкодія. Сонячні батареї. Напівпровідникові випромінювачі: світлодіоди і лазери. Прилади для систем відображення інформації. Оптрони і оптоелектронні інтегральні мікросхеми.

### **3. Технологічні процеси у виробництві приладів і інтегральних мікросхем мікро-та наносистемної техніки**

Визначення кристалографічної орієнтації напівпровідників. Орієнтоване різання, шліфування та полірування пластин.

Хімічне травлення і хімічне полірування германію, кремнію і арсеніду галію. Хіміко-механічне полірування. Фінішне очищення пластин. Методи контролю якості очищення.

Планарна технологія. Фізичні основи процесу дифузії. Основні рівняння. Практичні методи проведення дифузійних процесів. Структурні схеми дифузійних печей.

Методи одержання електронних та іонних пучків. Іонне легування. Плазмохімічні та іонно-плазмові методи обробка напівпровідникових, діелектричних і металічних шарів. Конструктивні схеми основних типів обладнання для електронно-іонної та іонно-хімічної обробки.

Епітаксія. Методи контролю епітаксіальних шарів. Обладнання для епітаксіального нарощування плівок. Порівняння газотранспортної, рідкофазної та молекулярної епітаксії.

Термічне окислення кремнію в парах води, в сухому та вологому кисні. Маскуюча здатність плівок двоокису кремнію. Заряджені домішки в плівках, методи зміни заряду плівок. Одержання тонких плівок термічним випаровуванням у вакуумі. Іонно-плазмове розпилення. Хімічне осадження з газової фази. Фотолітографія. Основні типи обладнання для фотолітографії. Проекційна фотолітографія, електронолітографія та рентгенолітографія. Фотошаблони та їх виготовлення.

Основи конструювання структури напівпровідникових ІС. Методи ізоляції елементів. Ізопланарна технологія, епік-процес, технологія "кремній на ізоляторі". Структура і властивості елементів ІС. Корпуси напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. Методи герметизації. Методи відводу тепла в потужних напівпровідникових приладах. Тенденція розвитку планарної технології. Субмікронна технологія.

### **4. Питання забезпечення якості та надійності приладів мікро-та наносистемної техніки**

Організація контролю якості напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем. Методи вимірювання статичних, динамічних та імпульсних параметрів. Методи вимірювання шумових характеристик напівпровідникових приладів. Методи контролю ВІС та НВІС.

Види виробничих випробувань. Експлуатаційна надійність. Надійність елементів ІС. Класифікація та основні види відмов. Механізми відмов. Методи підвищення надійності напівпровідникових приладів та ІС. Дія радіації на напівпровідникові прилади та мікросхеми.

## Література

1. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. — в 2-х книгах. Кн.1.Пер.с англ.- М: Мир, 1984. — 465 с.
2. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. — Наука. Москва. — 1978. — 616 с.
3. Технология тонких пленок. Под ред. Л. Майссела и Р. Глэнга. Т. 1 и 2., М.: Советское радио, 1977.
4. Вакарчук І.О. Квантова механіка.-Львів.: ЛНУ, 2007. —560 с.
5. Токхайм Р., Микропроцессоры, Курс и упражнения, Пер. с англ. Москва, «Энергоатомиздат», 1998
6. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка: фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: Навч.посіб. — Львів: В-во НУ «Львівська політехніка», 2009. — 332 с.
7. Заячук Д.М. , Нанотехнології і наноструктури. Львів, 2009.
8. Ю.І. Якименко, Т.О.Терещенко і ін. «Мікропроцесорна техніка», Підручник, За редакцією Т.О.Терещенко, — К.: ІВЦ, Видавництво «Політехніка»; «Кондор», 2004, — 440 с.
9. Схемотехніка електронних систем: Книга 2 . Цифрова схемотехніка,Бойко В. І., Гуржій А. М., Жуйков В. Я. підручник для студентів технічних спеціальностей ВНЗ-Київ: Вища школа 2004
10. Рицар Б. Е. Цифрова техніка, Київ: ИМК ВО, 1991.
11. Фітьо В.М., Бобицький Я.В. Оптична дифракція на періодичних структурах. – Видавництво Львівської політехніки, Львів. – 2013. – 300 с.
12. Капустій Б.О., Надобко О.В.; Манздій Б.А. Основи цифрової мікросхемотехніки Киев: ИМК ВО, 1992.
13. И.А. Случинская Основы материаловедения и технологии полупроводников, М.: Высшая школа, 2002. — с.372