

Міністерство освіти України

ТИПОВА ПРОГРАМА КАНДИДАТСЬКОГО-ІСПИТУ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
01.04.10 - ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ І ДІЕЛЕКТРИКІВ

Київ, 1997

## 1. ОСНОВИ КРИСТАЛОГРАФІЇ ТА КРИСТАЛОФІЗИКИ

1. Гратка, кристалічна структура. Гратки Браве. Елементи симетрії, перетворення симетрії. Точкові групи. Сингонії. Просторові групи. Приклади кристалічних структур. Індокси Міллера. Дифракція рентгенівських променів. Закон Вульфа-Брега. Рівняння Лауе. Обернена гратка. Аномальний фактор розсіювання. Структурний фактор. Рентгенівські методи дослідження структури кристалів. Нейтронографічний метод дослідження будови кристалів та атомної магнітної структури магнітовпорядкованих кристалів.

2. Типи сил зв'язку в кристалах. Енергія зв'язку.

3. Зв'язок структури кристалів з характером хімічних зв'язків. Координаційне число. Радіус іона. Щільнозапаковані структури. Дефекти структури, домішки в кристалах.

## 2. ПРУЖНІ ТА ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ

1. Тензор деформацій і тензор напруг. Узагальнений закон Гука,- Модулі пружності та пружні постійні для кристалів різних класів. Пружні хвилі в кубічних кристалах. Визначення пружних постійних.

2. Спектр власних частот. Акустичні та оптичні гілки. Нормальні коливання. Фонони. Розсіювання фононів. Локальні коливання в неідеальних кристалах.

3. Теплоємність кристалів. Теорії Ейнштейна, Дебая, Борна. Теплопровідність ізоляторів. Теплове розширення, Дислокації.

## 3. ЕЛЕМЕНТИ ЗОННОЇ ТЕОРІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА

Основні допущення. Хвильова функція електрона в періодичному полі. Зони Брілюєна. Енергетичні зони. Метод сильно зв'язаних електронів. Закон дисперсії. Ізоенергетичні поверхні. Метали і напівпровідники. Ефективна маса. Зонна структура напівпровідника. Метод псевдопотенціалу. Кристали в зовнішніх полях. Неідеальні кристали. Середнє значення швидкості та прискорення електрона в кристалічній гратці. Електрони та дірки. Рух носіїв заряду в постійному і однорідному магнітному полі (класична теорія). Діамагнітний резонанс, Метод ефективної маси. Енергетичний спектр носіїв заряду в постійному і однорідному магнітному полі (квантова теорія). Рух і енергетичний спектр носіїв заряду в постійному електричному полі. Мілкі домішкові рівні в гомеоплярному кристалі. Проблема обґрунтування зонної теорії та задачі, що виходять за її межі. Адіабатичне наближення. Полярон. Метод самоузгодженого поля. Електрони та дірки як елементарні збудження багатоелектронної системи в напівпровіднику. Екситони. Механізми рекомбінації.

## 4. СТАТИСТИКА ЕЛЕКТРОНІВ ТА ДІРОК В НАПІВПРОВІДНИКАХ

Розподіл квантових станів в зонах. Розподіл Фермі-Дірака. Концентрація електронів та дірок в зонах. Невироджені напівпровідники. Випадок сильного виродження. Ефективна маса густини станів. Густина станів в квантуючому магнітному полі. Концентрація електронів і дірок на локальних рівнях. Прості центри. Багатозарядні центри. Розподіл Гіббса. Часткові випадки. Визначення положення рівня Фермі. Рівень Фермі у власному напівпровіднику. Напівпровідник з домішкою одного типу. Взаємна компенсація донорів та акцепторів. Компенсовані напівпровідники. Визначення енергетичних рівнів та концентрація домішкових атомів з електричних вимірів.

## 5. ЕЛЕМЕНТИ КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ЯВИЩ ПЕРЕНОСУ

Кінетичне рівняння Больцмана для електронів в твердому тілі. Наближення Лоренца і аналіз інтегралу зіткнень. Лінеаризація рівняння Больцмана і перехід до рівняння Блоха. Розв'язок рівняння Блоха на основі електричних, гальваноманітних ефектів. Циклотронний резонанс. Механізми релаксації – гальмування електронів на коливаннях решітки, атомах домішки та точкових дефектах. Рухливість носіїв в напівпровідниках та діелектриках, полярони великого і малого радіусів, стрибкова провідність, захоплення електронів фононами. Явища в сильних полях - гарячі електрони, доменна нестійкість, ударна іонізація.

## 6. КОНТАКТНІ ЯВИЩА І ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В НАПІВПРОВІДНИКАХ

1. Нерівноважні електрони та дірки. Час життя нерівноважних носіїв заряду. Рівняння неперервності. Фотопровідність. Квазірівні Фермі. Електронно-діркові переходи. Виявлення нерівноважних носіїв заряду. Амбіполярні дифузія та дрейф. Довжини дифузії та дрейфу, р-n і n-p переходи. Випростовування і підсилення змінних струмів при допомозі р-n-переходів. Статична вольт-амперна характеристика р-p-переходів n-p-перехід при змінній напрузі. Тунельний ефект в р-p-переходах. Тунельні діоди. Біполярний напівпровідниковий тріод. Гетеропереходи. Багатоcontactні прилади і принципи мікроелектроніки. Лавиннопролітні діоди, діоди Гана, перемикачі Овшинського.

2. Явища в контактах. Потенціальні бар'єри. Густина струму. Співвідношення Ейнштейна. Умови рівноваги контактуючих тіл. Термоелектронна робота виходу. Контактна різниця потенціалів. Розподіл концентрації електронів і потенціалу в шарі об'ємного заряду. Довжина екранування. Збагачений контактний шар у відсутності струму. Збіднений контактний шар. Струми, обмежені просторовим зарядом. Випростовування в контакті метал-напівпровідник. Дифузійна та діодна теорії, порівняння з експериментом.

3. Механізм проходження струму в тонких діелектричних плівках в системі МДМ (метал-діелектрик-метал). Термостимульовані струми і струми термостимульованої деполяризації. Специфічні властивості діелектрика і межі розділу діелектрик-напівпровідник в системі НДП (вмонтований заряд, розподіл поверхневих станів, рекомбінаційні процеси).

4. Статистика рекомбінації електронів і дірок. Відмінні типи процесів рекомбінації, Рекомбінація через домішки і дефекти. Нестационарні процеси. Стационарні стани. Багатозарядні пастки.

5. Поверхневі електронні стани. Походження ПЕС. Вплив поверхневого потенціалу на електропровідність. Ефект поля. Польові транзистори. Швидкість поверхневої рекомбінації. Залежність поверхневої рекомбінації від поверхневого потенціалу.

6. Фотоелектронорушійні сили. Роль нерівноважних носіїв. Фото-е.р. с. в однорідних напівпровідниках. Об'ємна фото-е.р.с. Вентильна фото-е.р.с. Фотоелементи та фотодіоди. Фотоелектромагнітний ефект.

## 7. ІОННА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ І ПРОБІЙ В ТВЕРДИХ ТІЛАХ

1. Іонна провідність кристалів. Дефекти по Френкелю і Шоткі, закономірності їх виникнення і руху. Теоретичний розрахунок енергії виникнення дефектів. Вплив дислокації і сторонніх домішок на процес провідності. Теоретичний опис провідності та дифузії на основі моделі періодичних потенціальних бар'єрів. Експериментальне визначення природи, концентрації та рухливості носіїв заряду. Зв'язок рухливості та коефіцієнта дифузії: співвідношення Нернста-Ейнштейна.

2. Пробій як порушення стаціонарного режиму електропровідності. Методи експериментального вивчення пробою діелектриків і статистичної обробки даних. Три форми пробою діелектриків - електрична, теплова, електрохімічна (електричне старіння).

Ударна іонізація, доменна нестійкість. Теорія теплового пробою твердих діелектриків і співставлення висновків теорії з експериментальними даними. Закономірності електричного старіння органічних і неорганічних діелектриків.

3. Лавинний і тунельний пробої р-п-переходів в напівпровідниках. Використання явища пробою в лавинно-пробитому діоді, стібілітроні, тунельному діоді. Способи підвищення пробивної напруги.

4. Шнування струму в сильних електричних полях в однорідних напівпровідниках, в транзисторних структурах і вторинний пробій транзисторів.

5. Сильно леговані напівпровідники. Домішкові рівні та домішкові зони. Особливості сильнолегованих напівпровідників. Густина станів. Хвіст густини станів. Міжзонні оптичні переходи в сильнолегованих напівпровідниках. Некристалічні напівпровідники.

## 8. ДІЕЛЕКТРИЧНА ПОЛЯРИЗАЦІЯ І ВТРАТИ

1. Квантовомеханічний і класичний опис поляризації як зміни, розподілу зарядів в діелектрику або напівпровіднику під дією електричного поля.

2. Поляризованість, зв'язані з нею заряди, вектор індукції. Зв'язок між цими характеристиками, електричною сприйнятливістю, діелектричною проникністю.

3. Обчислення діючого електричного поля для конденсованого середовища. Поле Лоренца і рівняння Клаузіуса-Мосотті, межі його застосовуваності. Теорія Онзагера, статистична теорія поляризації. Обчислення діючого поля для іонних кристалічних діелектриків, тензор діелектричної проникності анізотропних середовищ.

4. Діелектрична проникність однорідного електронного газу в напівпровідниках. Колективні коливання плазми, статистичне екранування, плазмони.

5. Діелектричні втрати в змінному електричному полі, зв'язані з провідністю діелектрика і з сповільненим встановленням поляризації. Питома потужність втрат, тангенс кута діелектричних втрат взаємозв'язок цих характеристик. Комплексна діелектрична проникність.

6. Основні методи досліджень поляризації і втрат в змінному полі від інфранізьких до надвисоких частот. Розповсюдження електромагнітних хвиль в діелектриках. Хвилеводи, резонатори.

7. Температурно-частотна залежність поляризації і втрат в неполярних, іонних і дипольних діелектриках. Резонансна дисперсія і абсорбція, релаксаційна поляризація і втрати, їх теоретичний аналіз і основні експериментальні дані. Співвідношення Крамерса-Кроніга, теорія релаксаційних втрат Дебая, врахування розподілу за часом релаксації.

## 9. ЕЛЕКТРЕТНИЙ ЕФЕКТ, П'ЄЗОЕЛЕКТРИКА, ПІРОЕЛЕКТРИКА СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКА, ФЕРОМАГНЕТИЗМ В ДІЕЛЕКТРИКАХ

1. Електретний ефект в діелектриках. Способи виготовлення електретів, їх основні характеристики, методи і результати досліджень стабільності електретів, механізму виникнення і релаксації електретного стану. Застосування електретів.

2. П'єзоелектричні явища в кристалах. П'єзоелектричний модуль і обмеження, що накладаються на величину його компонент умовами симетрії кристалічної ґратки. Механізм застосування п'єзоефекту.

3. Піроелектрика в кристалах. Спонтанна поляризація і її зміна з температурою. Можливі області застосування піроелектриків

4. Сегнетоелектричні явища в діелектриках. Температурний інтервал існування спонтанної поляризації, доменна структура, вплив електричного поля на сегнетоелектричні домени. Гістерезис в сегнетоелектричному стані, закон Кюри-Вейсса в параелектричному стані. Класифікація сегнетоелектриків: кристали з водневими зв'язками і киснево-октаедричного типу. Термодинамічна теорія сегнетоелектриків з фазовими переходами.

Елементи мікроскопії теорії електрики: врахування діючого електричного поля, зв'язок сегнетоелектричних властивостей з динамікою ґратки, м'яка мода. Застосування сегнетоелектриків.

5. Природа феромагнетизму, роль обмінної взаємодії, теорія молекулярного поля. Домени і доменні межі в магнітовпорядкованих речовинах. Процеси намагнічування, динаміка магнітної ґратки. Циліндричні магнітні домени, умови існування, розміри, рухливість.

## 10. ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДІЕЛЕКТРИКІВ І НАПІВПРОВІДНИКІВ

1. Поглинання, відбивання і пропускання світла діелектриками і напівпровідниками. Коефіцієнт поглинання і уявна частина діелектричної проникності. Оптичні властивості твердих тіл зв'язані з прямими і непрямыми міжзонними переходами електронів, з центрами окраски, з коливанням іонів кристалічної ґратки. Комбінована густина станів. Критичні точки. Полоса залишкових променів. Особливості інфрачервоних спектрів полімерних речовин. Поглинання світла вільними носіями в напівпровідниках, спектри плазмового відбивання.

2. Люмінесценція кристалів. Природа і закономірності теплового випромінювання. Флюоресценція і фосфоресценція, фотолюмінесценція і електролюмінесценція – основні закономірності і основні механізми. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках і напівпровідниках. Спонтанне і вимушене випромінювання. Різні типи ОКГ і принципи їх дії.

3. Магнітооптичні явища, ефекти Фарадея, Фогта. Електрооптичні явища. Ефекти Поккель-са, Керра, Франца-Келдиша. П'єзооптичні явища, подвійне променезаломлення при деформації.

4. Оптичні напівпровідникові та діелектричні прилади: фотоелемент, фотодіод, фототранзистор, фоторезистор, лавинний фотодіод, інжекційний лазер. Застосування оптичних явищ в оптоелектроніці та інтегральній оптиці.

5. Нелінійні оптичні властивості кристалів. Генерація другої і третьої гармонік, оптичне детектування. Застосування нелінійних оптичних явищ для керування лазерним випромінюванням.

## ЛІ Т Е Р А Т У Р А

1. Дж. Зойман. Принципи теорії твердого тела. Мир, М. 1974.
2. Дж. Най, Физические свойства кристаллов. Мир, М., 1967.
3. А. И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. Физматгиз, М., 1967.
4. В.Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. Физика полупроводников. Наука. М., 1967.
5. Є. Конуэлл. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. Мир. М., 1970.
6. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. Мир, М., 1967.
7. Г. А. Смоленский и др. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Наука, М., 1971.
8. Ю. И. Уханов. Оптические свойства полупроводников. Наука, М., 1977.
9. Дж. Филлипс. Оптические спектры твердых тел. Мир, М., 1968.
10. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П. Звягин, А. Г. Миронов. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. Наука, М., 1972.
11. Ф. Блатт. Физика электронной проводимости в твердых телах. Мир. М., 1977.