

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора з наукової роботи

В. В. Давидовський
« 5 » 2023 р.



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ

Радіаційна фізика напівпровідників

Освітньо-кваліфікаційний рівень: *доктор філософії*

Галузь знань: *10 - Природничі науки*

Спеціальність : *104 – Фізика та астрономія*

Освітня програма: *Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.*

Статус курсу: *фаховий (вибірковий)*

Київ 2023

Радіаційна фізика напівпровідників: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ , 2023. - 8 с.

Укладач: В.П. Тартачник, доктор фізико-математичних наук, професор

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 6 від “ 5 ” липня 2023 р.

**Опис навчальної дисципліни
«Радіаційна фізика напівпровідників»**

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
<i>Галузь знань</i>	10 Природничі науки
<i>Напрямок підготовки</i>	104 Фізика і астрономія
<i>Освітньо-кваліфікаційний рівень</i>	доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
<i>Вид</i>	Вибір Інституту
<i>Загальна кількість годин</i>	120
<i>Кількість кредитів ECTS</i>	4
<i>Кількість змістових модулів</i>	2
<i>Форма контролю</i>	іспит
Показники навчальної дисципліни для денної форми навчання	
<i>Рік підготовки</i>	II
<i>Лекційні заняття</i>	32
<i>Практичні, семінарські заняття</i>	16
<i>Лабораторні заняття</i>	немає
<i>Самостійна робота</i>	70
<i>Консультації</i>	2

Вступ

Дисципліна «Радіаційна фізика напівпровідників» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором аспіранта за напрямом 10- Природничі науки, спеціальністю – 104 фізика і астрономія, що викладається протягом другого року навчання.

Метою викладання навчальної дисципліни є оволодіння необхідним мінімумом знань з радіаційної фізики напівпровідників, який дозволить формувати задачу і ставити експеримент з метою визначення необхідних величин, які характеризують поведінку об'єкта у полі проникного опромінення

Після вивчення курсу аспірант повинен **знати**:

- Основні закономірності яким підпорядковуються взаємодія носіїв струму із зовнішніми полями, що впливають на кристал.
- Основні особливості, що характеризують напівпровідники, метали, діелектрики;
- Розуміти сутність фізичних ефектів і явищ, специфічних для напівпровідників;
- Механізми взаємодії прискорених частинок із твердо тільними об'єктами;
- Методи модифікації характеристик напівпровідників та приладів на їх основі;

У результаті вивчення дисципліни аспірант повинен **вміти**:

- Ставити та розв'язувати задачу, яка стосується одержання інформації про властивості радіаційних дефектів у конкретному напівпровіднику;
- Розраховувати режими опромінення;
- Складати програму досліджень опромінення кристалів;
- Розробляти технологію радіаційного впливу на зразок з метою ціле направленої зміни його фізичних властивостей

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою.

ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Основні принципи фізики твердого тіла.

ТЕМА1. Зонна теорія твердого тіла.

Адіабатичне наближення. Зони Брилюена. Рух електронів у кристалі.
Ефективна маса, Структура зон класичних напівпровідників.

ТЕМА 2. Статистика електронів і дірок..

Функція розподілу Фермі-Дірака. Рівень заповнення домішкових станів. Власний напівпровідник. Температурна залежність рівня Фермі. Домішкові зони.

ТЕМА 3. Оптика напівпровідників.

Поглинання світла. Правила Урбаха. Екситони. Люмінесценція. Механізми рекомбінації . Стимульоване випромінювання. Твердотільні лазери. Світлодіоди.

Модуль 2. Взаємодія проникного випромінювання з кристалами.

ТЕМА 4. Розсіяння важких частинок.

Система центра мас та л.-система. Передана енергія. Потенціали міжатомних взаємодій (Борна-Майєра, Томаса-Фермі-Дірака, Ленарда-Джонса, Межі застосування класичного підходу.

ТЕМА 5. Переріз та імовірність розсіяння.

Імовірність віддачі. Імпульсне розсіяння. Наближення твердих сфер.

ТЕМА 6. Зіткнення з нейтронами.

Анізотропія розсіяння. Величина переданої енергії. Кадмієве відношення. Ефект Вигнера. Радіаційне розпухання (свеллінг). Принцип ядерного легування напівпровідників. .

ТЕМА 7. Каскадні зміщення.

Модель Кінчена-Піза. Каскадна функція. Атомна концентрація змішень..

ТЕМА 8. Модель Зейтца-Харрісона.

Особливості опромінення важкими зарядженими частинками (протонами, легкими та важкими іонами, осколками ділення) , а також нейтронами різних енергій

Модуль 3. Релятивістські взаємодії.

ТЕМА 9. Опромінення швидкими електронами.

Модель Мак-Кінлі-Фешбаха. Перерізи взаємодії.Допорогове дефектоутворення. Опромінення гама-квантів.

ТЕМА 10. Модель Брейта-Вигнера.

Ширина ліній. Імовірність взаємодії. Резонансне захоплення нейтронів. Розподіл реакторних нейтронів за енергіями. Метод одержання ультрахолодних нейтронів.. Підсумки курсу.

Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	лекції	Практичні/ семінари	Самостійна робота
<i>Змістовний модуль 1. Основні принципи фізики твердого тіла.</i>			
Тема 1 Зонна теорія твердого тіла.	2	1	6
Тема 2. Статистика електронів і дірок.	2	1	6
Тема 3. Оптика напівпровідників.	2	2	10
<i>Разом за змістовний модуль 1</i>	6	4	22
<i>Змістовний модуль 2. Взаємодія проникного випромінювання з кристалами</i>			
Тема 4. Розсіяння важких частинок	6	3	8
Тема 5. Переріз та імовірність розсіяння.	4	4	8
Тема 6. Зіткнення з нейтронами.	2	1	4
Тема 7. Каскадні зміщення	2	1	4
Тема 8. Модель Зейтца-Харрісона..	2	1	4
<i>Разом за змістовний модуль 2</i>	16	10	28
<i>Змістовний модуль 3. Релятивістські взаємодії.</i>			
Тема 9. Опромінення швидкими електронами.	6	1	8
Тема 10. Модель Брейта-Вигнера	4	1	12
<i>Разом за змістовний модуль 3</i>	10	2	20
<i>Всього</i>	32	16	70

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 32 год.; практичних/семінарів – 16 год., самостійної роботи – 70 год., консультацій – 2 год.

Запитання до іспиту

1. В чому сутність адіабатичного наближення?
2. Для чого введено поняття зони Брилюена?
3. Дати визначення ефективної маси носія?
4. Який напівпровідник прямо зонний, а який –ні?
5. Який напівпровідник власний, а який- домішко вий?
6. Прямі і непрямі переходи у напівпровіднику.
7. Від чого залежить величина переданої енергії при атомних зіткненнях?
8. Модель імпульсного розсіяння. Коли використовується?
9. Які особливості механізму нейтронного розсіяння?
10. Для якого розсіяння можна застосувати модель Кінчина-Піза?
11. Чи можна вважати класичним розсіянням взаємодію електрона з атомом?
12. Пояснити ефект Вигнера.
13. Причини радіаційного розпухання металів.
14. Фізичні основи технології ядерного легування металів.

Форма контролю знань аспіранта

Основною формою поточного контролю знань є проведення модульних контрольних робіт. За результатами 3-х модульних контрольних робіт виводиться основна оцінка, яка переводиться у рейтингові бали (0-20 балів за модульну контрольну роботу). До них додаються бали за результатами складання заліку (0-40 балів).

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою для заліку
90–100 82–89 74–81 64–73 60–63	A B C D E	зараховано
35–59	FX	не зараховано з можливістю повторного складання
0–34	F	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Література

1. Фелдман Л, Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989.

2. Оцуки Ё. Х. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами. М.: Мир, 1985.
3. Эланго М. А. Элементарные неупругие радиационные процессы. М.: Физматгиз, 1988.
4. Ланно М., Бургуэн Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. Теория. М.: Мир, 1984.
5. Ланно М., Бургуэн Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. Экспериментальные аспекты. М. Мир, 1985.
6. Риссел Х., Руге И. Ионная имплантация. М. Физматгиз, 1983.
7. Аброян И. А., Андронов А. Н., Титов А. И. Физические основы электронной и ионной технологии. М.: Высшая школа, 1984.
8. Симонов В. В., Корнилов Л. А., Шашелев А. В., Шокин Е. В. Оборудование ионной имплантации. М.: Радио и связь, 1988.
9. Двуреченский А. В., Качурин Г. А., Нидаев Е. В., Смирнов Л. С. Импульсный отжиг полупроводниковых материалов. М.: Наука, 1982.
10. Вавилов В. С., Кив А. Е., Ниязова О. Р. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. М.: Наука, 1981.
11. Вавилов В. С., Кекелидзе Н. П., Смирнов Л. С. Действие излучения на полупроводники. М.: Физматгиз, 1988.
12. Вавилов В. С., Киселев В. Ф. Дефекты в кремнии и на его поверхности. М.: Наука, 1990.
13. Борисенко М. Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве. Минск: Наука і тэхніка, 1992.
14. Комаров Ф. Ф., Новиков А. П., Соловьев В. С., Ширяев С. Ю. Дефекты структуры в ионно-имплантированном кремнии. Минский университет. Минск, 1990.
15. В. В. Болотов, А. В. Васильев, А. В. Двуреченский, Г. А. Качурин, Н. Б. Придачин, Л. С. Смирнов, В. Ф. Стась. Вопросы радиационной технологии, Новосибирск, Наука, 1980.