

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

Кафедра експериментальної фізики

та інформаційно-вимірювальних технологій

Затверджено

Проректор з наукової роботи та
інновацій

проф. Бояр А.О.

«23» 06 2016 р.

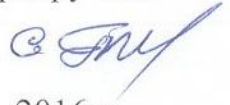


Затверджено

Проректор з науково-педагогічної і
навчальної роботи та рекрутації

проф. Гаврилюк С. В.

«23» 06 2016 р.



РАДІАЦІЙНА ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

РОБОЧА ПРОГРАМА

нормативної навчальної дисципліни

підготовки	доктора філософії (PhD)
галузі знань	10 Природничі науки
спеціальності	104 Фізика та астрономія

Луцьк – 2016

Робоча програма навчальної дисципліни «Радіаційна фізика твердого тіла» для підготовки доктора філософії (PhD) із галузі знань 10 Природничі науки, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

” ____ ” _____ 2016 р. – 10 с.

Розробники:

Федосов Сергій Анатолійович, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій, доктор фізико-математичних наук, доцент

Рецензент:

Сахнюк Василь Євгенович, доцент кафедри теоретичної та математичної фізики, кандидат фізико-математичних наук

Робоча програма навчальної дисципліни затверджена на засіданні кафедри експериментальної фізики та інформаційно-вимірювальних технологій

протокол № 12 від 24.05 2016 р.

Завідувач кафедри: _____ (Федосов С. А.)

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена науково-методичною комісією факультету інформаційних систем, фізики та математики

протокол № 10 від 8.06 2016 р.

Голова науково-методичної комісії факультету _____ (Полетило С. А.)

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена науково-методичною радою університету

протокол № 10 від 15.06 2016 р.

Робоча програма навчальної дисципліни схвалена науковою радою університету

протокол № 11 від 16.06 2016 р.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 1

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна форма навчання
Кількість кредитів – 6	10 Природничі науки 104 Фізика та астрономія	нормативна
Модулів – 3	Доктор філософії (PhD)	Рік підготовки – 2
Змістових модулів – 2		Семестр – 4
ІНДЗ: нема		Лекції – 44 год.
Загальна кількість годин – 180		Практичні (семінари) – 20 год.
Тижневих годин: аудиторних – 4		Самостійна робота – 116 год.
самостійної роботи – 7,25		Форма контролю – екзамен 4 семестр

2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Радіаційна фізика твердого тіла» є поглиблення і розширення теоретичних знань та формування практичних умінь пов'язаних із фізикою твердого тіла, фізичних та кінетичних явищ в напівпровідниках, вивченням типів точкових дефектів в напівпровідниках, фізичних основ механізмів їх утворення під дією швидких електронів, механізмів утворення дефектів при опроміненні кристалів швидкими і повільними нейтронами, механізмів утворення дефектів при іонному опроміненні, взаємодії радіаційних дефектів між собою і легуючими домішками та основних механізмів підпорогового дефектоутворення в напівпровідниках.

2.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Радіаційна фізика твердого тіла» є:

- вивчення механізмів утворення дефектів під дією швидких електронів, швидких і повільних нейтронів, іонів;
- взаємодії радіаційних дефектів між собою і легуючими домішками та основних механізмів підпорогового дефектоутворення в напівпровідниках;
- напрацювання практичних навичок аналізу природи, структури, концентрації дефектів і дефектних комплексів за параметрами електричних, оптичних та фотоелектричних властивостей матеріалів;
- напрацювання практичних навичок прогнозу зміни фізичних властивостей матеріалів в залежності від концентрації, структури і типу радіаційних дефектів.

2.3. Згідно з вимогами освітньо-наукової програми здобувачі доктора філософії (PhD) повинні:

знати:

- типи точкових дефектів в напівпровідниках;
- порогову енергію утворення точкових радіаційних дефектів в твердих тілах;
- модельні уявлення про процеси взаємодії первинних точкових дефектів між собою;
- взаємодію радіаційних дефектів між собою і легуючими домішками;
- основні механізми підпорогового дефектоутворення в напівпровідниках;
- механізми утворення дефектів під дією швидких електронів, при опроміненні твердих тіл швидкими і повільними нейтронами, при іонному опроміненні.

вміти:

- проводити аналіз природи, структури, концентрації дефектів і дефектних комплексів технологічного і радіаційного походження за параметрами електричних, фотоелектричних властивостей досліджуваних матеріалів;

- прогнозувати зміну властивостей напівпровідникових матеріалів в залежності від концентрації, структури і типу радіаційних дефектів в напівпровідникових сполуках.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 180 годин / 6 кредитів ECTS.

3. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОБСЯГ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

ОСНОВНІ ТИПИ ДЕФЕКТІВ В ТВЕРДИХ ТІЛАХ. ПЕРВИННІ ТОЧКОВІ РАДІАЦІЙНІ ДЕФЕКТИ

Тема 1. Вступ

Роль радіаційної фізики в розв'язку проблеми одержання стійких до високоенергетичного випромінювання елементів твердотільної електроніки, а також нових технологій створення напівпровідникових матеріалів з прогнозованими властивостями.

Тема 2. Точкові дефекти в напівпровідниках

1. Типи точкових дефектів в напівпровідниках. Вакансії, міжвузлові атоми, пари Френкеля. Дефекти Шоткі.

2. Власні точкові дефекти в твердих тілах і їх вплив на фізичні властивості матеріалів. Температурна залежність концентрації вакансій і міжвузлових атомів.

Тема 3. Первинні точкові радіаційні дефекти в напівпровідниках і інших кристалічних твердих тілах

1. Порогова енергія утворення точкових радіаційних дефектів в твердих тілах. Теоретичні моделі механізмів утворення первинних точкових дефектів при пружному розсіюванні ядерних частинок на атомах речовини.

2. Модельні уявлення про процеси взаємодії первинних точкових дефектів між собою: модель близької пари; модель Мак-Кея і Клонца; енергетичний бар'єр між власними компонентами пари Френкеля. Міграція точкових дефектів.

3. Утворення дефектів під дією швидких електронів. Взаємодія γ -квантів з атомами твердих тіл. Залежність порогової енергії і перерізу утворення первинних радіаційних дефектів від параметрів матеріалу і умов опромінення.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

УТВОРЕННЯ РАДІАЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ В РЕЧОВИНІ

Тема 4. Рух власних точкових дефектів в кристалі і їх взаємодія між собою і різними легуючими домішками

1. Самодифузія точкових дефектів. Міграція вакансій і міжвузлових атомів. Радіаційно прискорена міграція атомів в напівпровідниках.

2. Взаємодія радіаційних дефектів між собою і легуючими домішками. Вторинні радіаційні дефекти, утворення комплексів дефектів. Вакансійні скупчення, скупчення міжвузлових атомів.

Тема 5. Ефекти підпорогового дефектоутворення в напівпровідниках

1. Основні механізми підпорогового дефектоутворення в напівпровідниках. Роль іонізаційних процесів. Підпорогове дефектоутворення при опроміненні рентгенівськими променями, високоенергетичними зарядженими частинками, лазерними променями.

2. Радіаційно-стимульовані ефекти в напівпровідниках. Ефект Уоткінса по низькотемпературній міграції міжвузлових атомів кремнію. Моделі прискореної дифузії і міграції різних дефектів в напівпровідниках. Модель Бургуена-Корбета. Фотохімічні реакції.

Тема 6. Радіаційні дефекти при опроміненні напівпровідників важкими частинками

1. Утворення дефектів при опроміненні твердих тіл швидкими і повільними нейтронами. Області розупорядкування (кластери дефектів) і механізми їх утворення. Нейтронне легування напівпровідників.

2. Утворення дефектів при іонному опроміненні. Іонне легування напівпровідників. Матеріали електронної техніки, одержані за допомогою іонного легування.

4. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 2

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин						
	Усього	у тому числі					
		Лек.	Практ. (Семін.)	Лаб.	Консультації	Сам. роб.	Контр. роб.
Змістовий модуль 1. Радіаційна фізика твердого тіла							
Тема 1. Вступ	20	2	2	-	-	16	-
Тема 2. Точкові дефекти в напівпровідниках	32	8	2	-	-	22	-
Тема 3. Первинні точкові радіаційні дефекти в напівпровідниках і інших кристалічних твердих тілах	32	10	4	-	-	18	-
Разом за змістовим модулем 1	84	20	8	-	-	56	-
Тема 4. Рух власних точкових дефектів в кристалі і їх взаємодія між собою і різними легуючими домішками	32	8	4	-	-	20	-
Тема 5. Ефекти підпорогового дефектоутворення в напівпровідниках	32	8	4	-	-	20	
Тема 6. Радіаційні дефекти при опроміненні напівпровідників важкими частинками	32	8	4	-	-	20	-
Разом за змістовим модулем 2	96	24	12	-	-	60	-
Усього годин	180	44	20	-	-	116	-

5. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Теорія відпалу радіаційних дефектів, кінетика відпалу при: а) дифузії дефектів до фіксованих stokів; б) рекомбінація вакансій і міжвузлових атомів; в) міграція вакансій до stokів змінної концентрації; г) інші процеси відпалу.	2
2	Аналіз кривих відпалу і встановлення енергетичних пааметрів відпалу: а) криві Арреніса (метод перерізів); б) постійна швидкість нагрівання; в) метод Мічена-Брінкмена; г) метод вимірювання нахилу. Загальні рівняння швидкості хімічних реакцій і встановлення їх порядку.	2
3	Домішки, домішкові центри і комплекси домішкових атомів з власними дефектами в алмазоподібних напівпровідниках кремнії та германії.	2

№ з/п	Тема	Кількість годин
4	Радіаційні дефекти в сполуках $A^{III}B^V$. Стабільність дефектів релаксація кристалічної ґратки, орієнтаційні ефекти. Радіаційні дефекти в арсеніді галію (GaAs).	2
5	Радіаційні дефекти в інших сполуках $A^{III}B^V$: GaP; InAs; InP; $Al_xGa_{1-x}As$; $InAs_{1-x}P_x$.	2
6	Дефекти кристалічної ґратки в сполуках $A^{II}B^{VI}$. Експериментальне встановлення порогу дефектоутворення. Ідентифікація дефектів методом ЕПР.	2
7	Вакансії халькогена, вакансії металу, пари вакансій метал-домішка, метал-міжвузловий іон, іони металу в міжвузлі. Дефекти в ZnSe і ZnS. Люмінесцентні пари ($V_{Zn} + D^+$).	2
8	Радіаційні дефекти в монокристалах сульфідів кадмія. Власні точкові радіаційні дефекти в катіонній і аніонній підґратках. Утворення комплексів радіаційних дефектів з домішками атомів Cu і In і вплив їх на параметри рекомбінаційної люмінесценції люмінофорів на основі CdS.	2
9	Особливості утворення кластерів дефектів в монокристалах CdS під впливом швидких нейтронів. Залежність процесу дефектоутворення від вихідного дефектного стану зразків.	2
10	Підсумкове заняття.	2
Разом		20

6. САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Нові технології створення напівпровідникових матеріалів з прогнозованими властивостями	16
2	Експериментальні методи визначення порогової енергії зміщення атомів із вузлів кристалічної ґратки в елементарних і бінарних напівпровідниках.	22
3	Експериментальні методи ідентифікації дефектів в напівпровідниках. а) методи засновані на розсіянні рентгенівських променів і нейтронів; б) електронно-мікроскопічні дослідження, дифузія електронів на дефектах; в) виявлення дефектів за допомогою ефекту каналювання.	18
4	Джерела радіоактивних і високоенергетичних частинок.	20
5	Утворення і міграція структурних дефектів в деяких прикладних задачах: а) деградація напівпровідникових фотодатчиків, фотоелементів (сонячних батарей); б) механізми природного старіння (погіршення параметрів) напівпровідникових матеріалів і елементів твердотільної електроніки;	20
6	Вплив точкових дефектів на механічні властивості твердих тіл: а) закріплення дефектами дислокацій; б) радіаційні пошкодження металів і утворення гелієвих включень в металах при опроміненні α – частинками; в) зародження і ріст пор в металах при опроміненні важкими ядерними частинками в активній зоні атомних реакторів.	20
Разом		116

7. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ НАВЧАННЯ

Навчальний процес здійснюється у таких формах: навчальні заняття, самостійна робота аспірантів, практична підготовка, контрольні заходи. Основні види навчальних занять такі: лекція, практичне заняття, консультація.

Аудиторні навчальні заняття проводяться за затвердженням в установленому порядку розкладом. Основними видами аудиторних навчальних занять є: лекції, в тому числі з використанням мультимедіапроектора та інших ТЗН; практичні заняття з використанням ПК.

Лекція – один з основних видів навчальних занять і водночас методів навчання. Дидактичним завданням лекції є не тільки ознайомлення аспірантів з основним змістом, принципами, закономірностями, головними ідеями, а також підготовка до подальшої самостійної роботи. Лекція є елементом курсу лекцій, який охоплює основний теоретичний матеріал окремої або кількох тем навчальної дисципліни.

Практичне заняття – вид навчального заняття, під час якого викладач організовує детальний розгляд окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння й навички їх практичного застосування. Основна дидактична мета практичного заняття – розширення, поглиблення та деталізація наукових знань, отриманих аспірантами на лекціях і в процесі самостійної роботи й спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення аспірантів.

Консультація – це один із видів навчальних занять. Вона проводиться з метою отримання аспірантом відповіді на окремі теоретичні або практичні питання та для пояснення певних теоретичних положень чи аспектів їх практичного застосування.

Самостійна робота аспіранта є основним засобом засвоєння навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових навчальних занять, без участі викладача. Самостійна робота включає:

- опрацювання теоретичних основ лекційного матеріалу;
- вивчення окремих тем або питань, що не розглядаються в курсі лекцій;
- підготовку до практичних, лабораторних занять;
- розв'язування і письмове оформлення задач, схем, діаграм тощо;
- систематизацію вивченого матеріалу перед іспитом та ін. види роботи.

Аспірантам також рекомендується для самостійного опрацювання відповідна наукова література та періодичні видання.

8. ФОРМА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ – екзамен

Екзамен проводиться у письмовій формі. Білет містить: 3 відкритих питання (20 балів за повну відповідь).

Питання на екзамен:

1. Дефекти вакансійного типу. Міжвузлові атоми.
2. Дефекти Френкеля. Дефекти Шотки.
3. Антиструктурні дефекти. Не власні точкові дефекти. Типи домішкових дефектів.
4. Вплив стехіометрії сполуки на ансамбль власних точкових дефектів.
5. Основні методи утворення нерівноважної концентрації точкових дефектів.
6. Крайова, гвинтова дислокації. Спостереження дислокацій.
7. Енергія дислокації. Рух дислокацій.
8. Елементи дислокаційної теорії міцності твердих тіл.
9. Закріплення і розмноження дислокацій.
10. Плоскі, двохвимірні й об'ємні трьохвимірні дефекти.
11. Іонізаційні втрати енергії високоенергетичними зарядженими частинками.
12. Пружна взаємодія заряджених високоенергетичних частинок з атомами речовини.

13. Ефективний переріз зміщення атома із вузла кристалічної ґратки.
14. Взаємодія легких і важких нейтральних високоенергетичних частинок з речовиною.
15. Загальна характеристика методу іонної імплантації.
16. Фізичні основи іонно-променевого легування напівпровідників.
17. Профіль розподілу імплантованих домішок.
18. Орієнтаційні ефекти при опроміненні високоенергетичними частинками монокристалів твердих тіл.
19. Особливості частинок з підпороговою енергією.
20. Одержання рентгенівського випромінювання.
21. Особливості механізмів підпорогового дефектоутворення
22. Механізми дифузії точкових дефектів в твердих тілах.
23. Частота стрибків атомів при міжвузловому механізмі дифузії.
24. Дифузія за рахунок руху вакансій.
25. Переміщення атомів у кристалах на макроскопічні відстані.
26. Макроскопічна дифузія. Закон Фіка.
27. Розподіл концентрації дифундуючих частинок у зразку.
28. Методи спостереження дифузії. Ефект Кіркендолла.
29. Фізичні процеси в твердих тілах, зв'язані з радіаційно-стимульованою дифузією.
30. Висока низькотемпературна рухливість первинних радіаційних дефектів.
31. Визначення порогової енергії заміщення атомів із вузлів кристалічної ґратки
32. Модельні уявлення про механізм утворення первинних (пар Френкеля) радіаційних дефектів.
33. Рухливість радіаційно утворених вакансій і міжвузлових атомів.
34. Багатовакансійні комплекси, асоціації власних міжвузлових атомів.
35. Взаємодія радіаційних дефектів з домішками.
36. Взаємодія радіаційних дефектів з дислокаціями.
37. Перебудова первинних кластерів дефектів в елементарних напівпровідниках утворених нейтронним опроміненням.
38. Еволюція кластерів дефектів в напівпровідникових сполуках.
39. Кінетика відпалу нерівноважних дефектів в твердому тілі.
40. Аналіз кривих відпалу.
41. Загальні рівняння швидкості хімічних реакцій.
42. Типи неупорядкованих систем.
43. Виникнення випадкової складової потенціальної енергії електрона в неупорядкованих тілах.
44. Основні причини порушення далекого порядку в розміщенні атомів речовини.
45. Викривлення зон у неоднорідних напівпровідниках. Гладке випадкове поле.
46. Оптичні властивості неупорядкованих напівпровідникових матеріалів.
47. Екситони в неупорядкованих напівпровідниках.
48. Електричні властивості.
49. Температурна залежність електропровідності неупорядкованих систем.
50. Термо-е.р.с.

9. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ

У процесі вивчення дисципліни використовують такі методи оцінювання навчальної роботи аспіранта:

- поточне тестування та опитування;
- оцінювання самостійної роботи;
- письмовий екзамен.

10. РОЗПОДІЛ БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з курсу визначається так:

- кількості балів за поточне оцінювання – 40 балів;
- письмовий екзамен – 60 балів.

Поточний контроль (мах = 40 балів)						Модульний контроль/ екзамен (мах = 60 балів)	Загальна кількість балів
Модуль 1			Модуль 2			Модуль 3	100
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2			Самостійна робота	
T 1	T2	T 3	T4	T5	T6	МКР	
5	5	5	5	5	5	10	60

Рейтингова оцінка з навчальної дисципліни визначається як сума у балах поточної та підсумкової оцінки. Рейтингова оцінка у балах за шкалою навчального закладу може бути переведена до п'ятибальної шкали оцінювання (національної шкали). Згідно з даними таблиці перекладу рейтинговий оцінок від однієї шкали до іншої.

Шкала оцінювання (національна та ECTS)

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсової роботи (проекту), практики	для заліку
90 – 100	A	Відмінно	Зараховано
82 – 89	B	Добре	
75 - 81	C		
67 -74	D	Задовільно	
60 - 66	E		
1–59	Fx	Незадовільно	Не зараховано (з можливістю повторного складання)

11. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

- підручники та їх електронні форми;
- навчальні посібники та конспекти лекцій;
- плакати.

12. СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Давидюк Г. Є. Радіаційні ефекти в напівпровідниках : навч. посіб. / Давидюк Г. Є. – Луцьк : СНУ імені Лесі Українки, 2013. – 305 с.
2. Вавилов В. С. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках / Вавилов В. С., Кив А. Е., Ниязова О. Р. – М. : Наука, 1981. – 368 с.
3. Емцев В. В. Примеси и точечные дефекты в полупроводниках / В. В. Емцев, Т. В. Машовец. – М. : Радио и связь, 1981. – 248 с.
4. Вавилов В. С. Действие излучений на полупроводники / Вавилов В. С. – М. : Физматгиз, 1963. – 264 с.

5. Вавилов В. С. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах / В. С. Вавилов, Н. А. Ухин. – М. : Атомиздат, 1969. – 311 с.
6. Келли Б. Радиационные повреждения твердых тел / Келли Б. – М. : Атомиздат, 1970. – 236 с.
7. Коноплева Р. Ф. Особенности радиационного повреждения полупроводников частицами высоких энергий / Коноплева Р. Ф., Литвинов В. Л., Ухин Н. А. – М. : Атомиздат, 1971. – 176 с.
8. Смирнов Л. С. Физические процессы в облученных полупроводниках / Смирнов Л. С. – М. : Наука, 1977. – 256 с.
9. Винецкий В. Л. Радиационная физика полупроводников / В. Л. Винецкий, Т. А. Холодарь. – К. : Наукова думка, 1979. – 336 с.
10. Точечные дефекты в твердых телах / Под ред. Б. Л. Болтакса, Т. В. Машовец, А. Н. Орлова. – М. : Мир, 1979. – 384 с.
11. Дж. Майер. Ионное легирование полупроводников / Дж. Майер, Л. Эрикссон, Дж. Дэвис. – М. : Мир, 1973. – 296 с.
12. Семенюк А. К. Радіаційні ефекти в багатодолінних напівпровідниках / Семенюк А. К. – Луцьк : Надстир'я, 2001. – 324 с.
13. Давидюк Г. Є. Вплив опромінення частинками підпорогової енергії на оптичні та фотоелектричні параметри спеціально легованих і легованих різними домішками монокристалів сульфіду кадмію / Г. Є. Давидюк, Г. Л. Мирочук. – Луцьк : Вежа, 2009. – 132 с.
14. Трохимчук П. П. Радіаційна фізика твердого тіла / Трохимчук П. П. – Луцьк : Вежа, 2007. – 394 с.
15. А. Дамаск. Точечные дефекты в металлах / А. Дамаск, Дж. Динс. – М. : Мир, 1966. – 291 с.