

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи

« _____ » _____ 2019 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹
ДЕФЕКТИ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ КРИСТАЛАХ
(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань	<u>10 Природничі науки</u> (шифр і назва)
спеціальність	<u>104 Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності)
освітній рівень	<u>бакалавр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма	<u>Фізика, Астрономія, Оптотехніка</u> (назва освітньої програми)
спеціалізація (за наявності)	<u>Фізика наноструктур в металах та кераміках</u> (назва спеціалізації)
вид дисципліни	<u>вибіркова</u>

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2019/2020</u>
Семестр	<u>5</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Викладачі: доцент Оліх Олег Ярославович

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» __ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2019

¹ Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Розробники²: Оліх Олег Ярославович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____

_____ (Боровий М.О.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 10 від 7 травня 2019 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол №21 від 10 травня 2019 року

Голова науково-методичної комісії _____ (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2019 року

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – отримання глибоких та систематичних знань, які стосуються можливих відхилень від періодичності кристалічних структур, а також наслідками до яких приводить їх поява.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати закони термодинаміки, загальні умови термодинамічної рівноваги, правила опису кристалографічних напрямків та площин, механізми перенесення заряду, рівняння дифузії, методи опису зіткнення частинок, основи квантової механіки.
2. Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, диференційних та інтегральних рівнянь, математичної фізики, теоретичної механіки для розв'язку рівнянь у частинних похідних, знаходження похідних складних функцій, запису гамільтоніана системи, знаходження екстремумів функцій.
3. Володіти елементарними навичками графічно зображувати кристалографічні напрямки та площини, знаходити похідні, оцінювати складові повної енергії системи.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

В рамках курсу «Дефекти в напівпровідникових та діелектричних кристалах» розглядаються сучасні підходи до опису дефектів у кристалічних тілах, процесів їх утворення та переміщення, оцінки рівноважної концентрації, викладаються знання про структуру та властивості найпоширеніших точкових дефектів у напівпровідникових кристалах на прикладі кремнію та арсеніду галію. Мета вивчення дисципліни – отримання глибоких та систематичних знань, які стосуються можливих відхилень від періодичності кристалічних структур, а також наслідками до яких приводить їх поява. Навчальна задача курсу полягає у засвоєнні методів опису та дослідження точкових дефектів в напівпровідниках та діелектриках, а також їх впливу на властивості кристалів та виробів з них. Результати навчання полягають в умінні застосовувати методи статистичної термодинаміки, теоретичної механіки та квантової фізики для опису властивостей кристалічних напівпровідникових матеріалів. Методи викладання: лекції, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (80%) та заліку (20%).

4. Завдання (навчальні цілі) – засвоєння студентами методів опису та дослідження точкових дефектів в напівпровідниках та діелектриках, а також їх впливу на властивості кристалів та виробів з них.

5. Результати навчання за дисципліною: (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Оволодіння знаннями про типи та характеристики дефектів, методи оцінки їх рівноважної концентрації, та опису в напівпровідникових та діелектричних кристалах	лекції	Модульна контрольна робота, опитування	40
2.1	Вміти описувати процеси	лекції	Модульна	40

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

дефектоутворення під час радіаційного опромінення та перетворення в дефектній підсистемі при термообробці, оцінювати вплив основних дефектів у кремнії на його електрофізичні властивості.		контрольна робота, опитування	
--	--	-------------------------------	--

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	2.1	4.1	4.2
Програмні результати навчання					
	+				
			+		

7. Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Основні властивості точкових дефектів та статистичні і квантово-механічні методи їх опису», який включає в себе 9 лекцій та «Методи опису процесів перетворення дефектної підсистеми кристалів», який складається з 5 лекцій.

8. Схема формування оцінки:

8.1 Форми оцінювання студентів: (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

- Опитування під час першого змістового модуля (10 балів).
- Модульна контрольна робота 1 (30 балів).
- Опитування під час другого змістового модуля (10 балів).
- Модульна контрольна робота 2 (30 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку (20 балів).

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	<u>25</u>	<u>25</u>	<u>10</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>20</u>	<u>100</u>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше 50 балів.³

(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

8.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

Шкала відповідності

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74

³ У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – 20 балів, а рекомендований мінімум не менше 36 балів, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше 24 балів (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони не додаються до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Основні властивості точкових дефектів та статистичні і квантово-механічні методи їх опису				
1	Тема 1. Вступ. Іонні, ковалентні, ван-дер-ваальсівські та металеві кристали. Поняття дефекту. Класифікації дефектів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Структура в'юрциту. Вплив дефектів на властивості кристалів.	2		4
2	Тема 2. Типи точкових дефектів. Вакансія, розщеплена вакансія. Міжвузловий атом. Міжвузлові положення в ґратці. Ефект Яна-Теллера. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Визначення можливих міжвузольних положень в кристалах напівпровідникових сполук. Краудіон. Релаксація та дисторсія кристалічної ґратки	2		4
3	Тема 3. Рівноважна концентрація точкових дефектів (дефект Шоткі, пара Френкеля). Рівновага між різними зарядовими станами дефекту. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Визначення рівноважної концентрації міжвузольних атомів.	2		4
4	Тема 4. Концентрація дефектів в стехіометричних сполуках. Рівноважна концентрація комплексних дефектів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Метод квазіхімічних реакцій.	2		4
5	Тема 5. Наближення парної взаємодії, потенціали Ленард-Джонса, Морзе та Борна-Майєра, Букінгема. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Потенціали трьохчастинкової взаємодії.	2		4
6	Тема 6. Причини впливу дефектів на носії заряду в кристалах. Мілкі стани в напівпровідниках, застосування теорії ефективної маси. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Застосування теорії ефективної маси до легуючих домішок в кремнії.	2		4
7	Тема 7. Опис глибоких рівнів в напівпровідниках (методи молекулярних орбіталей, псевдопотенціалу, кристалічного поля). с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Метод функції Гріна.	2		4
8	Тема 8. Механізми дифузії дефектних атомів. Ймовірність перескоку атома та коефіцієнт дифузії дефектів. Самодифузія. Дифузія домішок заміщення та міжвузлових домішок. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Розрахунок коефіцієнтів дифузії для дефектів різних типів.	2		4
9	Тема 9. Вплив зарядового стану на міграцію дефектів: нормальна іонізаційно-прискорена дифузія, механізм	2		4

	Бургуена, співвідношення Ейнштейна. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Причини відхилень від співвідношення Ейнштейна для точкових дефектів.			
	<i>Модульна контрольна робота 1</i>			2
Частина 2. Методи опису процесів перетворення дефектної підсистеми кристалів.				
10	Тема 10. Причини появи та типи радіаційних дефектів. Переріз дефектоутворення при опроміненні іонами, нейтронами та електронами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Причини дефектоутворення при опроміненні кристалу фотонами різних енергій.	2		4
11	Тема 11. Вторинні зміщення. Переріз іонізації атомів під час опромінення та вплив цього процесу на ефективність дефектоутворення. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Підпорогові радіаційні дефекти.	2		4
12	Тема 12. Шляхи впливу термообробки на дефектну підсистему кристалів. Методи опису кінетики відпалу. Ізотермічний відпал та його застосування. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Ізохронний відпал.	2		4
13	Тема 13. Центри забарвлення в лужно-галоїдних та напівпровідникових сполуках: будова, основні властивості, особливості електронних переходів. Правило Мольво-Айві. Найпоширеніші комплекси в кремнії. Перші та нові термодонори. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Порівняння ефективності дефектоутворення при опроміненні різними частинками.	2		6
14	Тема 14. Метастабільні та бістабільні дефекти. Центри з від'ємною кореляційною енергією: особливості енергетичного спектру, причини появи, структура реальних дефектів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Оцінка співвідношень концентрацій дефектів у різних конфігураціях в залежності від температури..	2		4
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота</i>			2
	ВСЬОГО	28		62

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 90 год.⁴, в тому числі:

Лекцій – **28 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **0 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації – **1 год.**

Самостійна робота – **62 год.**

⁴ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁵:

Основна: (Базова)

1. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах. М., Высшая школа, 1983, 144 с.
2. Болеста І. Фізика твердого тіла. Львів, видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003, 480 с.
3. Ланно М., Бургуэн Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. Теория. М., Мир, 1984, 264 с.
4. Ланно М., Бургуэн Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. Экспериментальные аспекты. М., Мир, 1985, 304 с.
5. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. М., Мир, 1984, 475 с.
6. Оліх О.Я. Дефекти у напівпровідникових та діелектричних кристалах. Вінниця, ФОП Корзун Д.Ю., 2016, 152 с.
7. Гундерман М. Основі фізики полупроводников. Нанопізики і техніческие приложєния. М., Физматлит, 2012, 772 с.

Додаткова:

1. Мукашев Б.Н., Абдуллин Х.А., Горелкинський Ю.В. Метастабильные и бистабильные дефекты в кремнии // УФН. – 2000. – Т. 170, №2. – С. 143-155.
2. Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Ленинград, Наука, 1972, 384 с.
3. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. М., Мир, 1974, 496 с.
4. Стоунхем А.М. Теория дефектов в твердых телах. Электронная структура дефектов в диэлектриках и полупроводниках. М., Мир, 1978, т.1, 570 с.; т.2, 358 с.
5. Новіков М.М. Мікро- і макродеформація ковалентних кристалів. Курс лекцій для студентів фізичного факультету. К., Видавничий центр “Київський університет”, 2000, 87 с.

⁵ В тому числі Інтернет ресурси