

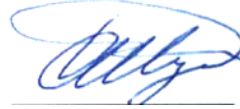
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем



Сергій ШУЛЬГА

“_24_” червня 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

МАТЕРІАЛИ КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ Другий магістерський рівень освіти _____

галузь знань _____ 10 Природничі науки _____
(шифр і назва)

спеціальність _____ 105 Прикладна фізика та наноматеріали _____
(шифр і назва)

освітня програма _____ Радіофізика та електроніка _____
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни _____ За вибором _____
(обов'язкова / за вибором)

факультет _____ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем _____

2024/2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

“ 24 ” червня 2024 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

доцент кафедри квантової радіофізики, к.ф.-м.н., Олександр ЛЕВЧЕНКО

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 20 ” червня 2024 року № 11

Завідувач кафедри квантової радіофізики



проф. Вячеслав МАСЛОВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником
проектної групи) Радіофізика та електроніка

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми

(керівник проектної групи) проф. Вячеслав МАСЛОВ



Вячеслав МАСЛОВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 24 ” червня 2024 року № 6

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем



(проф. Олександр БУТРИМ)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Матеріали квантової електроніки” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

магістр

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є забезпечення відповідним сучасним вимогам знань студентів про фізичні властивості матеріалів, що використовуються в квантовій електроніці, та загальні методи вимірювань характеристик матеріалів.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є вивчення фізичних властивостей матеріалів квантової електроніки, електричних, магнітних та оптичних явищ, що виникають в цих матеріалах.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- K01. Здатність до абстрактного та системного мислення, аналізу та синтезу.
- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- K04. Здатність бути критичним і самокритичним.
- K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- K06. Навички міжособистісної взаємодії.
- K07. Навички здійснення безпечної діяльності.
- K08. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- K09. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.
- K10. Прагнення до збереження навколишнього середовища.
- K11. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо. Готовність діяти в нестандартних ситуаціях.
- K12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- K13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- K14. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.
- K15. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, їх місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.
- K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної теоретичної та прикладної фізики.
- K17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як

математичного апарату фізики при вивченні та дослідженні фізичних явищ і процесів.

- K18. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.
- K19. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати числові методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем.
- K20. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи, та керувати колективом у сфері своєї професійної діяльності.
- K21. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- K22. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.
- K23. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень.
- K24. Орієнтація на найвищі наукові стандарти
– обізнаність щодо фундаментальних відкриттів і теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики та інших природничих наук.
- K25. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

1.3. Кількість кредитів 5

1.4. Загальна кількість годин 150

Навчальні заняття проводяться в малочисельній групі.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
<u>За вибором</u>
Денна форма навчання
Рік підготовки
2-й
Семестр
1-й
Лекції
36 год.
Практичні заняття
-
Лабораторні заняття
12 год.
Самостійна робота
102 год.
Індивідуальні завдання
-
Контрольні роботи
2

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: основні матеріали, що використовуються в квантовій електроніці, та їх характеристики, дефекти в матеріалах квантової електроніки, методи характеристики

матеріалів, спектроскопічні методи, фізичні явища, що виникають в матеріалах під впливом електричних і магнітних полів та випромінювань;

вміти: вимірювати характеристики матеріалів квантової електроніки і здійснювати чисельні розрахунки фізичних величин.

Програмні результати навчання

- ПР01. Здатність продемонструвати знання і розуміння наукових і математичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач та виконання досліджень в галузі теоретичної та прикладної фізики, ядерної та термоядерної енергетики, тощо.
- ПР03. Здатність продемонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації.
- ПР05. Вміти вибирати методи і моделювати явища та процеси в динамічних лінійних і нелінійних системах, а також аналізувати отримані результати.
- ПР06. Вміти самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати отримані результати.
- ПР07. Вміти застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових наукових і інженерних завдань.
- ПР10. Вміти здійснювати пошук, аналізувати та критично оцінювати інформацію з різних джерел.
- ПР13. Вміти самостійно виконувати експериментальні дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Аморфні (некристалічні) матеріали.

Тема 1. Основні властивості аморфних матеріалів.

Основні визначення. Ближній і дальній порядок. Методи дослідження. Радіальна функція. Скло. Класифікація скляних матеріалів.

Тема 2. Наноструктурні матеріали.

Наночастинки. Наноструктури. Фулерени.

Тема 3. Пористі матеріали.

Колоїдні системи. Геометрія (текстура) пористих тіл, Нанопористі і мезопористі матеріали. Пористі матеріали для лазерів

Тема 4. Застосування некристалічних матеріалів в квантовій електроніці.

Оптичне волокно. Неодимове скло. Застосування скла в лазерах.

Розділ 2. Кристалічні матеріали.

Тема 1. Кристали: основні визначення і загальні властивості.

Кристали (історична справка). Кристалічна ґратка та її елементи.

Тема 2. Симетрія кристалів.

Симетрія. Закриті операції і елементи симетрії. Точкові групи симетрії. Симетрія кристалів. Кристалографічні точкові групи. Сингонії. 14 ґраток Браве. Відкриті операції і елементи симетрії. Просторові групи симетрії.

Тема 3. Хімічні зв'язки в кристалах.

Природа хімічних зв'язків в кристалах. Фазові переходи в кристалах.

Тема 4. Кристали, які використовуються в квантовій електроніці (без урахування дефектності структури).

Кварц. Лужно-галоїдні кристали (ЛГК). Дигідрофосфат калію (KDP). Кристали гранату (YAG). Корунд.

Розділ 3. Дефекти в матеріалах квантової електроніки.

Тема 1. Класифікація дефектів.

Основні типи дефектів в аморфних і кристалічних матеріалах, які виникають в процесі росту кристалів (ростові дефекти). Використання дефектів в приладах квантової електроніки.

Тема 2. Вплив випромінювань на фізичні властивості матеріалів.

Типи світлових та іонізуючих випромінювань та їх вплив на фізичні властивості матеріалів.

Тема 3. Радіаційні дефекти.

Основні типи радіаційних дефектів в аморфних та кристалічних матеріалах.

Тема 4. Вплив теплового та інших зовнішніх факторів на дефектність кристалів.

Термоіндуковані дефекти. Трансформація дефектів.

Розділ 4. Електричні властивості матеріалів.

Тема 1. Електричні явища в матеріалах.

Поляризація. Нелінійність. Дисперсія. Електропровідність. Електрострикція. Обратний п'єзоэффект. Теплові ефекти. Ефект Штарка. Параелектричний резонанс..

Тема 2. Електропровідність.

Електропровідність в слабких та сильних електричних полях. Температурна залежність електропровідності. Частотна залежність електропровідності.

Тема 3. Діелектричне проникнення.

Дисперсія діелектричного проникнення. Температурна залежність діелектричного проникнення. Вплив структури матеріала на діелектричне проникнення. Вплив фазових переходів на діелектричні властивості матеріала. Сегнетоелектричний фазовий перехід.

Розділ 5. Магнітні властивості матеріалів.

Тема 1. Магнітні явища в матеріалах.

Ефект Зеемана. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР). Ядерний магнітний резонанс (ЯМР). Подвійний електронно-ядерний магнітний резонанс. Ферромагнітний резонанс.

Тема 2. Магнітні властивості матеріалів квантової електроніки.

Магнітне проникнення матеріалів. Магнітні дефекти в матеріалах квантової електроніки.

Тема 3. Використання магнітних матеріалів в квантовій електроніці.

Спектрометри. Мазери.

Розділ 6. Оптичні властивості матеріалів.

Тема 1. Фізичні явища, що індуковані в твердих тілах світловими полями.

Поляризація та сприйнятливність прозорої речовини. Ефект Керра. Ефект Покельса. Багатофотонне збудження. Багатофотонна іонізація. Нелінійні ефекти.

Тема 2. Оптичні властивості матеріалів в слабких та сильних світлових полях.

Оптична анізотропія. Нелінійно-оптичні середовища. Лазерна міцність матеріалів.

Тема 3. Застосування оптичних матеріалів в квантовій електроніці.

Оптичні матеріали для генерації лазерного випромінювання, нелінійно-оптичні матеріали для отримання гармонік лазерного випромінювання. Матеріали для детекторів лазерного випромінювання.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Аморфні (некристалічні) матеріали.						

Тема 1. Основні властивості аморфних матеріалів.	2	2				
Тема 2. Наноструктурні матеріали.	19	2				17
Тема 3. Пористі матеріали.	2	2				
Тема 4. Застосування некристалічних матеріалів в квантовій електроніці.	2	2				
Разом за розділом 1	25	8				17
Розділ 2. Кристалічні матеріали.						
Тема 1. Кристали: основні визначення і загальні властивості.	3	3				
Тема 2. Симетрія кристалів.	3	3				
Тема 3. Хімічні зв'язки в кристалах.	3	3				
Тема 4. Кристали, які використовуються в квантовій електроніці.	20	3				17
Разом за розділом 2	29	12				17
Розділ 3. Дефекти в матеріалах квантової електроніки.						
Тема 1. Класифікація дефектів.	2	2				
Тема 2. Вплив випромінювань на фізичні властивості матеріалів.	18	1				17
Тема 3. Радіаційні дефекти.	1	1				
Тема 4. Вплив теплового та інших зовнішніх факторів на дефектність кристалів.	1	1				
Разом за розділом 3	22	5				17
Розділ 4. Електричні властивості матеріалів.						
Тема 1. Електричні явища в матеріалах.	1	1				
Тема 2. Електропровідність.	15	2		3		10
Тема 3. Діелектричне проникнення.	12	2		3		7
Разом за розділом 4	28	5		6		17
Розділ 5. Магнітні властивості матеріалів.						
Тема 1. Магнітні явища в матеріалах.	1	1				
Тема 2. Магнітні властивості матеріалів	21	1		3		17

квантової електроніки.						
Тема 3. Використання магнітних матеріалів в квантовій електроніці.	1	1				
Разом за розділом 5	23	3	4	3		17
Розділ 6. Оптичні властивості матеріалів.						
Тема 1. Фізичні явища, що індуковані в твердих тілах світловими полями.	1	1				
Тема 2. Оптичні властивості матеріалів в слабких та сильних світлових полях.	4	1		3		
Тема 3. Використання матеріалів в приладах квантової електроніки оптичного діапазону.	18	1				17
Разом за розділом 6	23	3		3		17
Усього годин	150	36		12		102

4. Теми практичних занять

Практичних занять не заплановано.

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення параметрів електропровідності матеріалів.	3
2	Визначення діелектричних характеристик матеріалів.	3
3	Вивчення спектрів ЕПР іонів перехідних металів.	3
4	Визначення напрямку осей в кристалах за допомогою коноскопичних фігур.	3
	Разом	12

6. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, написання рефератів, підготовка до виконання лабораторних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 2. Використання нанотехнологій в виробництві матеріалів. Наноматеріали: основні досягнення на теперішній час.	17
2	Розділ 2. Тема 4. Закономірності росту кристалів.	17
3	Розділ 3. Тема 2. Особливості впливу виду і дози випромінювань на фізичні властивості матеріалів квантової електроніки. Дозиметрія.	17
4	Розділ 4. Теми 2, 3. Методи дослідження структури і електричних властивостей матеріалів.	17

5	Розділ 5. Тема 3. Використання мікроскопічних дефектів в матеріалах для створення мазерів і лазерів.	17
6	Розділ 6. Тема 3. Оптичні методи дослідження кристалів.	17
	Разом	102

7. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

8. Методи навчання

Курс побудовано на лекційних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом, та з лабораторних занять, що складаються з чотирьох частин: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) ознайомлення студентів з лабораторним обладнанням; 3) виконання завдань лабораторних робіт. На самостійну роботу виведено низку питань, що стосуються змісту курсу, що вивчається, але не входять до лекцій.

9. Методи контролю

Поточний контроль включає роботу на лекційних заняттях і самостійну роботу (30 балів), виконання та захист лабораторних робіт (20 балів).

Після вивчення першого і другого розділу курсу проводяться 2 письмові контрольні роботи, які оцінюються в $2 \times 5 = 10$ балів.

Підсумковий контроль – залікова робота (40 балів).

10. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота →													
Розділ 1				КР №1	Розділ 2				КР №2	Розділ 3			
T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4		T1	T2	T3	T4
1	2	1	1	5	1	1	1	2	5	1	2	1	1
5				5	5				5	5			

Поточний контроль та самостійна робота (продовження таблиці)											Залікова робота	Сума	
Розділ 4				Розділ 5				Розділ 6					Разом
T1	T2	T3		T1	T2	T3		T1	T2	T3			
3	6	6		2	6	2		2	4	2			
15				10				10			60	40	100

Примітка: T1, T2 ... – теми розділів; КР – контрольна робота.

Розділ зараховується студентові, якщо він набирає не менш 50 % можливих балів за тему. Студент допускається до заліку, якщо всі розділи зараховані. Студент не допускається до заліку, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 не допускаються до заліку з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до заліку шляхом виправлення нульових оцінок з лабораторних робіт і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей установлюється викладачами, котрі проводять відповідні заняття і контрольні заходи.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Виконання кожного завдання залікового білету оцінюється балом за таблицею

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недобросовісність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	20-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка залікової роботи за 40-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (П1+П2+П3)/3,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання залікового білету.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

11. Рекомендована література

Основна література

1. Kittel C. Introduction to Solid State Physics (8th Edition). John Wiley & Sons, Inc, 2005.– 680 p.
2. Kelly V. T. Irradiation Damage to Solids. Elsevier, 1966.– 262 p.
3. Бадіян Є.Ф. Практична кристалографія: навч. посіб.– Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010.– 144 с.
4. Поплавко Ю. М. Фізичне матеріалознавство: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, Л. П. Переверзєва, С. А. Воронов, Ю. І. Якименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – Ч. 2: Діелектрики.– 392 с.
5. Григорчак І.І., Понеділок Г.В. Імпедансна спектроскопія.– Львів: В-во НУ “Львівська політехніка”, 2011.– 352 с.
6. Као, Kwan Chi. Dielectric phenomena in solids: with emphasis on physical concepts of electronic processes. Elsevier, 2004.– 581 p.
7. Weil J. A., Bolton J. R. Wertz J. E.. Electron paramagnetic resonance: Elementary theory and applications. New York: Wiley-interscience, 1994.– 568 p.
8. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, Ю. І. Якименко.– К.: НТУУ «КПІ», 2012.– 300 с.

Допоміжна література

1. A. Abragam, B. Bleaney, Electron Paramagnetic Resonance of Transition Ions.– Oxford, 2012.– 944 p.
2. Siegman A.E. Microwave solid-state masers.– New York, San Francisco, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company, 1964.– 608 p.
3. Siegman A.E. Lasers.– California: University Science Books. Mill Valley, 1986.– 1283 p.

12. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <http://www.photonics.com/EDU/Handbook.asp>
2. <http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>