

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Фізичний факультет
Кафедра прикладної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Декан фізичного факультету
Лазур В.Ю./
«02» березня 2023 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ І ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	10 природничі науки
Спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма	Освітньо – професійна програма
Статус дисципліни	вибіркова
Мова навчання	українська

Ужгород 2023 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» для здобувачів вищої освіти галузі знань 10 природничі науки спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали, Освітньо – професійна програма.

Розробник: Біланич В.С. доцент, кандидат фізико-математичних наук

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики

Протокол № 8 від «23» 02 2023 року

Завідувач кафедри прикладної фізики  (Небола І.І.)

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від «02» 03 2023 року

Голова науково-методичної комісії  (Карбованець М.І.)

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів - 4	Рік підготовки	
Загальна кількість годин – 120	1- й	
Кількість модулів – 2	Семестр	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студентів – 4	2- й	
	Лекції	
	22 год.	
	Практичні (семінарські)	
Вид підсумкового контролю: залік	Лабораторні	
	20 год.	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота	
	78 год.	

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 42 / 78

для заочної форми навчання – відсутня

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» є фундаментальна теоретична і практична підготовка студентів з питань розвитку сучасних методів дослідження наноматеріалів, застосування їх у фізиці та хімії твердого тіла, матеріалознавстві, фізиці наноматеріалів і композитів, фізиці поверхні; ознайомлення студентів з фізичними основами методів досліджень наноматеріалів; методами обробки та представлення результатів досліджень наноматеріалів; програмним забезпеченням для обробки файлів експериментальних даних при дослідженні наноматеріалів.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- загальні компетенції (ЗК):

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК2);

- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК5);

- здатність до проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК6);

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК7);

- здатність працювати в команді (ЗК8).

фахові компетенції (ФК):

- здатність відповідно до поставленої задачі виконувати науково-технічні розробки в галузі прикладної фізики та наноматеріалів (ФК4);

- здатність самостійно опановувати нову апаратуру та технології, в тому числі із суміжних галузей, для розв'язання виробничих задач (ФК5);

- здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження (ФК6);

- здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій (ФК8);

- здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (ФК9).

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» є наявність у студентів знань та навичок, здобутих раніше під час вивчення таких дисциплін: Математичний аналіз, Прикладна механіка, Теплові явища і молекулярна фізика, Електричні і магнітні явища, Оптичні явища.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми вивчення навчальної дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» повинно забезпечити досягнення здобувачами вищої освіти таких програмних результатів навчання (ПРН):

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем	ПРН02
Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики	ПРН 03
Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та	ПРН05

характеристиками фізичних систем.	
Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів	ПРН 08
Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.	ПРН09

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті здобувачами освіти після опанування навчальної дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
знати основні сучасні методи вимірювань фізичних параметрів напівпровідникових та діелектричних матеріалів та області практичного використання;	ПРН02
знати сучасні вимірювальні прилади та системи для досліджень фізичних явищ та процесів у напівпровідниках та діелектриках;	ПРН02
знати спеціалізоване програмне забезпечення для представлення результатів експериментальних досліджень;	ПРН02
знати фізичний зміст основних процесів, що відбуваються при нагріванні, зовнішньому опромінюванні напівпровідників та діелектриків;	ПРН03
вміти використовувати спеціалізоване програмне забезпечення (NanoScope Analysis) для обробки та візуалізації результатів сканування поверхні напівпровідникових та діелектричних структур з допомогою атомно-силового мікроскопа;	ПРН05
вміти використовувати програму Gwyddion для обробки та представлення експериментальних результатів по скануванні поверхні напівпровідникових та діелектричних структур методом зонда Кельвина;	ПРН08
вміти планувати експериментальні дослідження основних параметрів низькорозмірних та нанорозмірних напівпровідникових та діелектричних структур.	ПРН09

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- проміжний модульний контроль,
- підсумковий семестровий контроль.

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю:

- вибіркове усне опитування перед початком занять;
- фронтальне усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття;
- експрес-опитування;
- реферативні повідомлення та їх обговорення;
- перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи;

– оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.

Форма модульного контролю: виконання модульної контрольної роботи, результати якої оцінюються за 100-бальною шкалою за кожний модуль.

Форма підсумкового семестрового контролю: залік. До заліку допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

Оцінювання знань студентів здійснюється на основі результатів:

- поточного контролю знань;
- проміжного модульного контролю знань ;
- підсумкового семестрового контролю знань – залік.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	60	100
10	10	10	10		

T - T4 – теми.

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота				Модульна контрольна робота	Сума
T5	T6	T7	T8	60	100
10	10	10	10		

T5 – T8 – теми

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	-	-	-	-
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)	2	20	3	20
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні	-	-	-	-
Реферативна доповідь	1	10	1	10
Модульна контрольна робота	1	70	1	70
Разом	4	100	4	100

Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

Модульна контрольна робота здійснюється у письмовій формі шляхом відповідей на питання тестових завдань. Кожна правильна відповідь оцінюється певною кількістю

балів. Максимальна кількість балів за кожний модуль становить 100 балів. Мінімальна кількість балів, за якої робота вважається виконаною, становить 60 балів.

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів» здійснюється через залік. Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються так: Зараховано («відмінно», «добре», «задовільно»), Не зараховано («незадовільно»).

Оцінка „відмінно” виставляється в тому разі, коли студент бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” виставляється тоді, коли студент виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів програмовим матеріалом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” виставляється в тому разі, коли студент в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в окремих питаннях матеріалу дисципліни, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” виставляється тоді, коли студент не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння сутності основних понять та термінів дисципліни, допускає плутанину, не може застосовувати набуті знання для розв’язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням студента результуюча підсумкова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	ECTS	
	Оцінка	Характеристика
90 та вище	A	Зараховано (відмінно)
80-89 65-79	B	Зараховано (добре)
	C	Зараховано (добре)
55-64 50-54	D	Зараховано (задовільно)
	E	Зараховано (задовільно)
35-49 1-34	FX	Не зараховано (незадовільно з можливістю перескладання)
	F	Не зараховано (незадовільно з обов'язковим повторним навчанням)

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти залік.

Результати підсумкового контролю знань із навчальних дисциплін, з яких передбачено залік, заносяться до залікової відомості.

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Зміст навчальної дисципліни «Методи діагностики напівпровідникових і діелектричних матеріалів»

Модуль 1. Основи електронної теорії кристалів. Характерні фізичні властивості напівпровідників та діелектриків.

Тема 1. Атомна та електронна структура твердих тіл. Фізичні властивості кристалів.

Структура твердих тіл. Аморфна та кристалічна структура. Енергетичні критерії та ознаки різних конденсованих структур. Експериментальні методи дослідження структури твердих тіл. Типи енергії зв'язку твердих кристалічних структур: молекулярна, іонна, металева, ковалентна. Загальні характеристики.

Тема 2. Теплові властивості твердих тіл. Ангармонізм коливання атомів.

Теплоємність твердого тіла. Теплоємність діелектриків при підвищених температурах. Експериментальні дані. Теплопровідність твердого тіла. Теплове розширення твердого кристалічного тіла. Ангармонізм коливання атомів.

Тема 3. Електричні властивості напівпровідників та діелектриків.

Електропровідність кристалів. Класична теорія електропровідності. Квантова теорія електропровідності. Зонна теорія кристалів. Енергетичний спектр електронів у кристалах. Класифікація кристалів за електричними властивостями. Власні та домішкові напівпровідники. Електрофізичні властивості діелектриків. Діелектричні релаксаційні процеси. Застосування сегнетоелектриків і споріднених матеріалів. Спонтанна поляризація і доменна структура в сегнетоелектриках.

Тема 4. Електропровідність напівпровідників.

Температурна залежність концентрації носіїв струму. Температурна залежність рухливості носіїв струму. Температурна залежність електропровідності. Термоопір. Підготовка зразків до вимірювань. Методи виготовлення зразків заданої геометрії. Методи виготовлення контактів. Перевірка омичних властивостей контактів. Вимірювання питомої електричної провідності напівпровідників. Чотиризондовий метод вимірювання питомого опору. Електрична схема та методика вимірювання питомого опору чотиризондовим методом. Застосування чотиризондового методу при вимірюванні питомого опору тонких плівок та тонких пластин. Вимірювання питомого опору пластин довільної форми (метод Ван дер Пау).

Модуль 2. Прикладні аспекти фізики напівпровідників та діелектриків. Дослідження електричних і оптичних властивостей напівпровідникових і діелектричних матеріалів.

Тема 5. Методи дослідження електрофізичних параметрів напівпровідникових плівок.

Інтерференційний метод вимірювання товщини плівок. Еліпсометрія. Еліпсометричний метод вимірювання товщини плівок. Вимірювання параметрів нерівноважних носіїв заряду. Параметри нерівноважних носіїв заряду. Методи вимірювання дрейфової рухливості носіїв заряду. Методи вимірювання часу життя носіїв заряду. Особливості експериментального дослідження діелектричних спектрів.

Тема 6. Гальваномагнітні методи вимірювання параметрів напівпровідників.

Ефект Холла. Можливість дослідження параметрів напівпровідників за допомогою ефекту Холла. Методи вимірювання ефекту Холла. Метод постійного струму та

постійного магнітного поля. Зразки для вимірювання ефекту Холла. Вимірювання ефекту Холла методом Ван дер Пау.

Тема 7. Оптичні методи вимірювання параметрів напівпровідників. Основні типи спектральних приладів.

Типи оптичного поглинання. Апаратура на дослідження оптичних властивостей напівпровідників. Характеристики оптичних приладів. Джерела випромінювання. Приймачі випромінювання. Особливості основних типів спектральних приладів. Зразки для вимірювань та визначення їх коефіцієнта поглинання. Електрон- і екситон-фононна взаємодія. Емпіричне правило Урбаха. Вплив фазових переходів на температурну еволюцію краю поглинання у фероїках. Інфрачервоні спектри і спектри КРС кристалічних фероїків. Прояв фазових переходів у коливних спектрах. М'яка мода. Технологія отримання і перспективи застосування наноструктурованих сегнетоелектриків і споріднених матеріалів.

Тема 8. Поляризація діелектриків. Вимірювання діелектричної проникності та діелектричних втрат.

Поляризація діелектриків у статичному електричному полі. Діелектрична проникність. Неполлярні та полярні діелектрики. Поляризація діелектриків. Механізми поляризації діелектриків. Методи вимірювання діелектричної проникності та діелектричних втрат. Дослідне визначення поляризуємості та дипольного моменту молекули. Орієнтаційна (дипольна) поляризація. Електронна та атомарна поляризація. Час релаксації. Рівняння Дебая. Діаграма Коул-Коула. Іонна провідність. Гранична чи об'ємна поляризація.

6.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин - 90					
	Форма навчання: денна					
	Усього 120	у тому числі				
Лекції 22		практичні (семінарські)	Лабораторні 20	індивідуальна робота	самостійна робота 78	
1-й семестр						
Модуль 1						
Тема 1. Основи електронної теорії кристалів. Характерні фізичні властивості напівпровідників та діелектриків.	12	2				10
Тема 2. Теплові властивості твердих тіл. Анггармонізм колювання атомів.	12	2				10
Тема 3. Електричні властивості напівпровідників та діелектриків.	16	2		4		10
Тема 4. Електропровідність напівпровідників.	16	2		4		10
Модульна контрольна робота	2	2				
Разом за модуль	58	10		8		40
Модуль 2						
Тема 5. Методи дослідження електрофізичних параметрів напівпровідникових плівок.	16	2		4		10
Тема 6. Гальваномагнітні методи вимірювання	12	2		2		8

параметрів напівпровідників.					
Тема 7. Оптичні методи вимірювання параметрів напівпровідників. Основні типи спектральних приладів.	17	3		4	10
Тема 8. Поляризація діелектриків. Вимірювання діелектричної проникності та діелектричних втрат.	15	3		2	10
Модульна контрольна робота	2	2			
Разом за модуль	62	12		12	38
Всього	120	22		20	78

6.3. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Чотирьохзондовий метод вимірювання електричного опору напівпровідникових пластин та аморфних шарів.	4	
2.	Дослідження розмірних ефектів при мікроіндентуванні напівпровідникових і діелектричних матеріалів.	4	
3.	Дослідження фотоіндукованих процесів в аморфних напівпровідникових плівках.	4	
4.	Вимірювання спектрів пропускання й поглинання тонких напівпровідникових та діелектричних аморфних плівок.	2	
5.	Дослідження релаксаційних переходів у діелектричних матеріалах: полімерах, стеклах.	4	
6/	Використання спеціалізованих комп'ютерних програм для обробки експериментальних результатів досліджень напівпровідникових та діелектричних матеріалів.	2	
Разом		20	-

6.4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	Дослідження температурної залежності електричного опору напівпровідників.	4	
2.	Дослідження температурної залежності електрофізичних властивостей діелектричних матеріалів.	4	
3.	Дослідження температурної еволюції краю власного поглинання фероїків.	4	
4.	Дослідження діелектричних релаксаційних процесів у фероїках.	4	
5.	Діелектричні параметри в діелектриках з тепловими механізмами поляризації.	4	
6.	Характер електропровідності у фероїках.	4	
7.	Суперіоніки. Фізичні властивості.	4	
8.	Суперіонний фазовий перехід та його особливості.	4	
9.	Зв'язок коефіцієнту теплового розширення з іншими константами твердого тіла.	4	
10.	Теорія Дебая для діелектричних релаксаційних процесів.	4	

11.	Побудова та визначення параметрів матеріалів з діаграми Коула-Коула.	4	
12.	Аналіз діелектричної дисперсії при наявності кількох релаксаторів.	4	
13.	Діелектрична дисперсія в сегнетоелектриках.	4	
14.	Край власного поглинання в діелектриках.	4	
15.	Фундаментальна діелектрична дисперсія в сегнетоелектриках.	4	
16.	Внесок доменної динаміки в діелектричну проникність.	4	
17.	Вимірювання часу життя носіїв заряду за фотоелектромагнітним ефектом.	4	
18.	Вимірювання часу життя носіїв заряду методом модуляції провідності у точковому контакті.	2	
19.	Фізичні властивості кристалів з різними типами хімічного зв'язку.	2	
20.	Оптичний метод визначення концентрації домішки із спектрів поглинання.	4	
	Підготовка до модульної контрольної роботи	2	
	Разом	78	

7. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

Технічні засоби: Мультимедійний проєктор.

Обладнання: персональні комп'ютери, ноутбуки.

Програмне забезпечення Windows 10, Microsoft Power Point.

Лабораторні стенди, мікротвердомір, джерела світла, лазери, фотодіоди, аморфні плівки та плівки з поверхневими наноструктурами.

Програми NanoScope Analysis, Gwyddion.

8. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. В.Капустяник, В.Мокрий. Оптико-спектральні методи в науково-технічній експертизі. Практикум.-Л.:Вид. центр ЛНУ ім. І.Франка.-2004.-207 с.
2. В.Капустяник, В.Мокрий. Прикладна спектроскопія.-Л.:Вид. центр ЛНУ ім. І.Франка.- 2009.-305 с.
3. Поплавко Ю.М., Борисов О. В., Якименко Ю. І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч.посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
4. Пека Г. П., Стріха В. І. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках. Київ: Либідь, 1992. 235 с.
5. Воронов С. А., Переверзева Л. П., Поплавко Ю. М. Фізичне матеріалознавство. Ч.1. Перспективні напрямки матеріалознавства. – К. – 2004. – 190 с.
6. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів: навчальний посібник . – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. – 243 с.
7. Поплавко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 3. Напівпровідники. / Ю.М. Поплавко, В.І. Льченко, А. С. Воронов, Ю.І. Якименко. – К. Політехнік, 2011. – 333 с

Допоміжна література

1. Колесов С.М., Колесов І.С. Електроматеріалознавство (Електротехнічні матеріали). Підручник. – К.: "Дельта", 2008. – 516 с.

2. Поплавко Ю.М., Переверзева Л.П., Воронов С.О., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. Частина 2. Діелектрики. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 392 с.

3. Конструкційні та електротехнічні матеріали: навч. посібник / І.І. Василенко, В.В. Широков, Ю.І. Василенко. – Львів: Магнолія 2007. – 242 с.

4. Журавльова, Л.В., Бондар В.М. Електроматеріалознавство: підручник. – К.: Грамота, 2006. – 320 с.