КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет
(назва факультету, інституту, центру, коледжу)

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана/директора
з навчальної роботи
____
«10» червня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Основи сучасної мікроскопії
(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань **15 Автоматизація та приладобудування**
(шифр і назва)

спеціальність **152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка**
(шифр і назва спеціальності)

освітній рівень **бакалавр**
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)

освітня програма **Оптотехніка**
(назва освітньої програми)

спеціалізація ____________________
(за наявності) *(назва спеціалізації)*

вид дисципліни **обов'язкова**

Форма навчання	**денна**
Навчальний рік	**2022/2023**
Семестр	**8**
Кількість кредитів ECTS	**3**
Мова викладання, навчання та оцінювання	**українська__**
Форма заключного контролю	**залік**

Викладачі: проф. Кондратенко С.В.

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

на 20__/20__ н.р. __________(__________) «__»___ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата

КИЇВ – 2022

Розробники:
Кондратенко Сергій Вікторович, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри оптики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ________________Поперенко Л.В.
___________________ (___________________)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 13 від «_19_» _травня_ 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету __________________

Протокол від «_10_» __червня____ 2022 року № 11
Голова науково-методичної комісії ____________________ (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

«_____» _________________ 2022 року

ВСТУП

1. Мета дисципліни – надати базові знання з метрології нанорозмірних об‘єктів методами атомно-силової, тунельної та флуоресцентної конфокальної мікроскопії, розглянути сучасні області їх застосування.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати визначальні ознаки нанорозмірних матеріалів, основи метрології наноструктур, основні електричні та оптичні явища, статистику електронів та діро та кінетичні явища в наноструктурах, загальні положення теорії твердого тіла.

2. Вміти - вимірювати оптичні та електрофізичні параметри і характеристики матеріалів, аналізувати роботу сучасних мікроскопів.

3. Володіти елементарними навичками аналізу роботи сучасних мікроскопів.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Основи сучасної мікроскопії» присвячена вивченню принципів роботи атомно-силового мікроскопу, електронного, тунельного та конфокального мікроскопів. Розглянуто будову і основні характеристики оптичного, атомно-силового, тунельного та флуоресцентного конфокального мікроскопів.

Програма навчальної дисципліни складається з двох змістових модулів:

У межах першого змістовного модуля на лекціях розглядаються питання: вступ до нанотехнологій; енергетичний спектр носіїв електронів в низькорозмірних системах; принцип роботи атомно-силового мікроскопу; транспортні явища в низькорозмірних структурах; проводяться також самостійне вивчення матеріалу описового характеру, вказаного лектором.

У межах другого змістовного модуля на лекціях розглядаються питання: фізичні основи роботи тунельного мікроскопу; методи діагностики та аналізу наносистем за допомогою тунельної та конфокальної флуоресцентної мікроскопії; сучасні напрямки діагностики наноструктур, а також самостійне вивчення матеріалу описового характеру, вказаного лектором.

4. Завдання (навчальні цілі): - ознайомлення студентів з фізичними принципами діагностики нанорозмірних об‘єктів методами атомно-силової, тунельної та флуоресцентної конфокальної мікроскопії, транспортом в наноструктурах, з основними поняттями та ідеями сучасної наноелектроніки, підготовка студентів до вивчення спеціальних оглядів та оригінальних робіт з окремих питань даної області. Ознайомлення із сучасними методами дослідження основних параметрів та властивостей нанорозмірних об‘єктів.

Відповідно до Стандарту вищої освіти України (перший рівень вищої освіти, галузь знань 15 «**Автоматизація та приладобудування**», спеціальність 152 «**Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка**») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти перелічених нижче компетентностей:

Інтегральна компетентність: здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з метрології, інформаційно вимірювальної техніки, оптотехніки у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів метрології, фізики, способів побудови засобів автоматизації та приладобудування.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК1. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях.

Спеціальні (фахові) компетентності:

ФК2. Здатність проектувати засоби інформаційно-вимірювальної техніки та описувати принцип їх роботи.

ФК5. Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при конструюванні модулів, деталей та вузлів засобів вимірювальної техніки та їх обчислювальних компонент і модулів.
ФК9. Здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах.
ФК13. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

Програмні результати навчання:

ПРН01. Вміти знаходити обґрунтовані рішення при складанні структурної, функціональної та принципової схем засобів інформаційно- вимірювальної техніки.
ПРН14. Вміти організувати процедуру вимірювання, калібрування, випробувань при роботі в групі або окремо.
ПРН22. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень в галузі оптики, лазерної фізики та оптоелектроніки, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		**Методи викладання і навчання**	**Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)**	**Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни**
Код	**Результат навчання**			
1.1	Знати: Принципи роботи та будову атомно-силового, тунельного та флуоресцентного конфокального мікроскопів.	*Лекції та лабораторні роботи*	*Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань*	*10*
1.2	Знати: Основи оптики нанооб'ктів, транспорт носіїв заряду в нанорозмірних структурах, принципи ближньопольової оптичної мікроскопії, основні методики досліджень електричних та оптичних властивостей з нанорозмірною роздільною здатністю.	*Лекції та лабораторні роботи*	*Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом відповідей на конкретну кількість питань, модульна контрольна робота*	*10*
2.1	Застосувати набуті знання для оцінки розміру нанорозмірних об'єктів, їх електричних та оптичних властивостей, вміти проводити відповідні виміри та розрахунки.	*Лекції та лабораторні роботи*	*Щотижневий контроль попереднього матеріалу, модульна контрольна робота*	*10*
2.2	Використати набуті навички на виробничих підприємствах та в лабораторіях науково-дослідних і навчальних установ.	*Лекції та лабораторні роботи*	*Щотижневий контроль попереднього матеріалу шляхом*	*10*

			відповідей на конкретну кількість питань,	

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1	2
ПРН01 Вміти знаходити обґрунтовані рішення при складанні структурної, функціональної та принципової схем засобів інформаційно- вимірювальної техніки.	+	+
ПРН14. Вміти організувати процедуру вимірювання, калібрування, випробувань при роботі в групі або окремо.	+	+
ПРН22. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень в галузі оптики, лазерної фізики та оптоелектроніки, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.	+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1: 20 балів
2. Модульна контрольна робота 2: 20 балів

- підсумкове оцінювання у формі заліку*: - 60 балів*

- умови допуску до підсумкового заліку:

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше ніж 20 балів.

7.2 Організація оцінювання:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 2 змістових модулів. Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання контрольних робіт, усних відповідей під час лекції, письмових та усних самостійних завдань. Модульний контроль: 2 модульні контрольні роботи, за які студент може отримати максимально **40 балів** (по **20 балів** за кожну роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі заліку, під час якого студент може отримати максимально **60** балів.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
	Змістовий модуль 1			
1	**Лекція 1.** Вступ. Перспективні матеріали та напрямки оптичної мікроскопії. Оптична мікроскопія в метрології.	**2**	**2**	**4**
2	**Лекція 2.** Концепція метрологічного забезпечення нанометрії. Класифікація методів.	**2**		**3**
3	**Лекція 3.** Атомно-силовий мікроскоп. Фізичні основи роботи атомно-силового мікроскопу. Скануючі елементи (сканери) атомно-силових мікроскопів. Сили, що діють між вістрям та зразком. Контактний та напівконтактний режим роботи. Амплітудна та частотна модуляції. Формування та обробка зображень.	**2**		**3**
4	**Лекція 4.** Електричні методи на основі атомно-силової мікроскопії.	**2**	**2**	**3**
5	**Лекція 5.** Методи нанолітографії з використанням зондового мікроскопу. Атомна інженерія. Локальне окислення металів та напівпровідників.	**2**		**3**
6	**Лекція 6.** Метод зонда Кельвіна. Електросилова мікроскопія. Скануюча ємнісна мікроскопія. Магніто-силова мікроскопія.	**2**	**2**	**3**
7	**Лекція 7.** Методи нанолітографії з використанням зондового мікроскопу. Атомна інженерія. Локальне окислення металів та напівпровідників.	**2**		**3**
8	**Лекція 8.** Методи нанолітографії з використанням зондового мікроскопу. Атомна інженерія. Локальне окислення металів та напівпровідників.	**2**	**2**	**3**
	Змістовий модуль 2			
9	**Лекція 9.** Тунельна мікроскопія. Принцип роботи тунельного мікроскопу. Конструкція зондів для тунельного мікроскопу. Енергетична діаграма тунельного бар’єра між двома металевими електродами. Формування зображень топології поверхонь методом сталого струму та сталої середньої відстані між зондом та поверхнею.	**2**		**3**
10	**Лекція 10.** Електрофізичні методи скануючої тунельної мікроскопії та спектроскопії. Вимірювання локальної роботи виходу за допомогою тунельного мікроскопу. Вольт-амперна характеристика тунельних контактів зонд-метал та зонд-напівпровідник.	**2**	**2**	**3**
11	**Лекція 11**. Спектроскопія енергетичних станів наноструктур та молекул за допомогою тунельного мікроскопу. Спектроскопія енергетичних станів твердотільних та органічних наноструктур за допомогою тунельного мікроскопу.	**2**		**3**

12	**Лекція 12**. Оптична мікроскопія та спектроскопія наноструктур. Випромінювальна рекомбінація в квантових ямах. Фотолюмінесценція в квантових ямах, точках, нитках. Флуоресценція наноструктур.	**2**	**2**	**3**
13	**Лекція 13**. Флуоресцентна конфокальна мікроскопія. Отримання збільшеного зображення з використанням люмінесценції збуджених атомів та молекул зразка. Оцінка граничної величини роздільної здатності оптичного мікроскопу. Оптичні схеми конфокальних мікроскопів.	**2**		**3**
14	**Лекція 14.** Ближньо-польова оптична мікроскопія. Ближньо-польова оптична мікроскопія. Вимірювання спектрів фотолюмінесценції та комбінаційного розсіювання світла окремих наноструктур за допомогою ближньо-польового оптичного мікроскопу. Оцінка роздільної здатності методу.	**2**	**2**	**3**
15	**Лекція 15.** Принцип дії та застосування електронного мікроскопа для аналізу морфології матеріалів.	**2**		**3**
	ВСЬОГО	**30**	**14**	**46**

Загальний обсяг ***90** год.*, в тому числі:
Лекцій **– 30** *год.*
Самостійна робота **- 60** *год.*

Теми лабораторних робіт:

1. Вимірювання топології поверхні з використанням атомно-силового мікроскопа.
2. Діагностика складу матеріалів за допомогою Раманівського мікроскопії.
3. Флюоресцентна мікроскопія.
4. Визначення роздільної здатності оптичного мікроскопа.
5. Аналіз структури матеріалів з використанням електронного мікроскопа.

9. Рекомендовані джерела:

Основна:

1. Akhtar, K., Khan, S.A., Khan, S.B., Asiri, A.M. (2018). Scanning Electron Microscopy: Principle and Applications in Nanomaterials Characterization. In: Sharma, S. (eds) Handbook of Materials Characterization. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_4
2. "Handbook of Measurement in Science and Engineering, Volume 1: Principles and Methods of Measurement" edited by Myer Kutz (John Wiley & Sons, 2013)
3. Whitehouse, D. J. (2010). Handbook of Surface and Nanometrology. CRC Press.
4. Mertz, J. (2019). Introduction to Optical Microscopy. Cambridge University Press.
5. Voigtländer, B. (2013). Atomic Force Microscopy: Imaging, Measuring and Manipulating Surfaces at the Atomic Scale. Springer.
6. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 1): Навчальний посібник. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2011. – 133 с.
7. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 2): Навчальний посібник / за ред. С.П. Кулика та О.В. Прокопенка. – К.:

Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. – 170 с.
8. ДСТУ ГОСТ 8.593:2014 Метрологія. Мікроскопи сканувальні зондові атомно-силові. Методика повірки (ГОСТ 8.593-2009, IDT).
9. ДСТУ ГОСТ 8.592:2014. Метрологія. Міри рельєфні нанометрового діапазону з монокристалічного кремнію. Вимоги щодо геометричних форм, лінійних розмірів та вибору матеріалу для виготовлення (ГОСТ 8.592–2009, IDT)

Додаткова:
1. John H. Davies. The physics of low-dimensional semiconductors. An introduction. – Cambridge university press, 1998. – 425 p.
2. C. Klingshirn. Semiconductor optics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
3. Born, M. & Wolf, E. (2019). Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light (7th Edition). Cambridge University Press.
4. Binnig G., Roher H. Scanning tunneling microscopy – from birth to adolescence // Reviews of Modern Physics. – 1987. – Vol. 59, № 3. – P. 615-625.
5. Binnig G., Roher H., Gerber Ch., Weibel E. Surface studies by scanning tunneling microscopy // Physical Review Letters. – 1982. – Vol. 49, № 1. – P. 57-61.
6. Директива з низьковольтного обладнання (ДСТУ EN 61010-1:2010 Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування)