

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра фізики металів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана  
з навчальної роботи

Момот О.В.

2021 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>

Фізика низькорозмірних структур

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній ступінь магістр  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Фізика наносистем  
(назва освітньої програми)  
вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання денна  
Навчальний рік 2021/2022  
Семестр 1  
Кількість кредитів ECTS 3  
Мова викладання, навчання та оцінювання українська  
Форма заключного контролю залік

Викладачі: професор Семенко Михайло Петрович

(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)

КИЇВ – 2021

<sup>1</sup> 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.

Розробники<sup>1</sup>: Семенко Михайло Петрович, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри фізики металів

*(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)*

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри фізики металів

  
— (підпис) —


(Курилюк В.В.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 11 від «10» червня 2021 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

Протокол № 4 від «22» червня 2021 року

Голова науково-методичної комісії

  
(підпис)

(Оліх О.Я.)  
(прізвище та ініціали)

---

<sup>1</sup> 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** – ознайомлення студента з фізико-хімічними основами створення наноматеріалів та їх структурою; вивчення впливу квантоворозмірних ефектів на властивості речовин; ознайомитись з властивостями наноструктурованого поруватого кремнію з різними поруватістю та розмірами пор та особливостями його використання в приладах різного призначення.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Знати основні методи отримання поверхневих наноструктур; енергетичний спектр електронних станів у квантових нитках і квантових точках; особливості морфології та структури пористих шарів; властивості наноструктурованого поруватого кремнію, що є відмінними від властивостей об'ємного матеріалу; оптичні та люмінесцентні властивості поруватого кремнію; області застосування наноструктурованого поруватого кремнію.
2. Вміти орієнтуватись у шляхах керування параметрами наноматеріалів при їх формуванні; визначати основні структурні характеристики поруватого кремнію; кваліфіковано пояснювати фізичні причини зміни властивостей наноматеріалів при переході від монокристалічної до наноструктурованої форми.
3. Володіти уявленнями про фізичні явища і процеси в низькорозмірних структурах, зумовлені розмірним ефектом та великою питомою площею поверхні.

**3. Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу «Фізика низькорозмірних структур» розглядаються сучасні підходи експериментального дослідження і теоретичного опису атомної і електронної структури та спектру властивостей низькорозмірних структур. Мета вивчення дисципліни – ознайомити студентів з сучасними досягненнями в області фізики наноструктур, а саме в дослідженні структури та властивостей низькорозмірних структур. Методи викладання: лекції. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та заліку (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – розвиток у студентів уявлень про фізичні явища і процеси в низькорозмірних структурах, зумовлені розмірним ефектом та великою питомою площею поверхні.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальних:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК01)
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК02)
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК03)
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. (ЗК04)

Фахових:

- Здатність використовувати закони та принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (СК01).
- Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики. (СК02).
- Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях. (СК05).
- Здатність застосовувати теорії опису фізичних властивостей наносистем різних типів. (СК12).

**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	Знати явища та процеси в низькорозмірних структурах, зумовлених поверхневими та розмірними ефектами.	лекції, самостійна робота	опитування в процесі лекцій, модульні контрольні роботи	30
1.2	Знати основні методи отримання наноструктур та властивості деяких наносистем.	лекції, самостійна робота	опитування в процесі лекцій, модульні контрольні роботи	30

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

Результати навчання дисципліни	Програмні результати навчання	
	1.1	1.2
РН01. Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики для розв'язання складних задач і практичних проблем.	+	
РН07. Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді.	+	+
РН09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємодіючи спілкуючись із колегами.	+	+
РН18. Знати методи отримання, особливості структури та властивостей аморфно-нанокристалічних сплавів.		+
РН25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.		+

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

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 за темами 1-8: РН 1.1 – 25 балів / 15 балів
2. Модульна контрольна робота 2 за темами 9-14: РН 1.2 – 25 балів / 15 балів
3. Опитування в процесі лекцій: РН 1.1, 1.2 – 10 балів / 6 балів

#### - підсумкове оцінювання у формі заліку.

Залік проводиться в письмовій формі. Максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом під час заліку дорівнює 40. Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за залік не може бути меншою 24 балів. Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше ніж 36 балів.

### 7.2. Організація оцінювання:

Модульні контрольні роботи 1 - 2 проводяться по завершенні тематичних лекцій з Розділів 1-2 відповідно.

Опитування студентів в процесі лекцій проводиться упродовж семестру.

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59

**СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
<i><b>Розділ 1. Методи отримання та властивості наноструктур.</b></i>				
1	<b>Тема 1.</b> Вступ. Структурні рівні конденсованого стану. Електронні стани в атомі водню. Особливості наноструктури. Зерна, шари, включення та пори в консолідованих матеріалах.	2		2
2	<b>Тема 2.</b> Структура наноматеріалів. Зерна, шари, включення та пори в консолідованих матеріалах. Дефекти, поверхні поділу.	2		4
3	<b>Тема 3.</b> Квантові низькорозмірні системи. Квантові закони руху електронів. Фізичні основи формування квантових структур. Двовимірний електронний газ і його властивості. Надгратки.	2		4
4	<b>Тема 4.</b> Поверхневі наноструктури. Розмірні ефекти. Поверхневі фази. Гетеродифузія і формування поверхневих фаз.	2		2
5	<b>Тема 5.</b> Формування наноструктурних шарів. Отримання поверхневих фаз. Побудова фазових діаграм. Формування двокомпонентних поверхневих фаз. Електрофізичні властивості поверхневих фаз на силіції.	2		4
6	<b>Тема 6.</b> Методи отримання поверхневих наноструктур. Молекулярно-променева епітаксія. Осадження плівок з металоорганічних сполук. Хімічне збирання поверхневих наноструктур. Отримання поверхневих фаз методом твердофазної епітаксії.	2		4
7	<b>Тема 7.</b> Енергетичний спектр електронних станів у квантових нитках і квантових точках. Густина станів в електронних системах різної розмірності. Енергетичний спектр електронних станів у квантових нитках і квантових точках. Квантова інженерія: самоорганізовані квантові точки. Механізми росту.	2		4
8	<b>Тема 8.</b> Квантоворозмірні ефекти. Найпростіші види низько розмірних об'єктів. Квантова нить. Квантова яма. Квантова точка. Енергетичний спектр 3D-електронного газу. Енергетичний спектр 2D-електронного газу. Електронний газ в квантовій нитці (1D-газ). Електронний газ в квантовій точці (0D-газ). Приклади впливу квантоворозмірних ефектів на властивості речовини.	4		6
	<i><b>Модульна контрольна робота 1</b></i>			2

<b>Розділ 2. Формування та основні структурні характеристики напівпровідникових матеріалів.</b>				
9	<b>Тема 9.</b> Поруватий кремній - модельний об'єкт для дослідження властивостей наноструктурних матеріалів та перспективний матеріал для використання в приладах різного призначення. Методи синтезу та механізми формування поруватого кремнію.	2		4
10	<b>Тема 10.</b> Люмінесценція поруватого кремнію. Квантоворозмірна модель фотолюмінесценції. Модель люмінесценції, побудовані з залученням кремнієвих сполук. Модель фотолюмінесценції зі збудженням-рекомбінацією в різних структурах. Електролюмінесценція.	2		4
11	<b>Тема 11.</b> Основні властивості модифікованого кремнію. Напружений кремній. Електронні пастки на поверхні напівпровідників. Ефект поля. Поверхнева рекомбінація і пасивація. Резонансний тунельний діод.	2		4
12	<b>Тема 12.</b> Низькорозмірні системи у магнітних полях. Отримання багат шарових магнітних структур методом електролітичного осадження. Двовимірний електронний газ у магнітному полі. Класичний та квантовий ефекти Холла. Розсіювання електрона на дефектах кристалічної ґратки. Гранульовані магнітні матеріали.	2		6
13	<b>Тема 13.</b> Оптичні властивості нанокмпозитів на основі низькорозмірних структур. Зв'язані електронно-діркові пари (екситони). Екситони у двовимірних напівпровідниках. Екситони у квантових нитках та квантових точках. Екситони в наноструктурах напівпровідник-діелектрик. Люмінесцентні властивості квантових точок.	2		4
14	<b>Тема 14.</b> Застосування функціональних наноматеріалів. Лазери на квантових ямах. Лазери на вертикально зв'язаних квантових точках. Електрооптичний перемикач. Цифрові перемикаючі прилади на атомних і молекулярних нитках. Транзистори на основі вуглецевих нанотрубок.	2		4
	<b>Модульна контрольна робота 2</b>			2
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>30</b>		<b>60</b>

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 90 год.<sup>2</sup>**, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **0 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації – **0 год.**

Самостійна робота – **60 год.**

<sup>2</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА<sup>3</sup>:

*Основна: (Базова)*

1. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Нанотруктурные материалы - М.: «Академия», 2005. - 192 с. (бібліотека кафедри)
2. В.Н. Неверов, А.Н. Титов. Физика низкоразмерных систем. Учебное пособие. Екатеринбург. 2008. – 232 с. (електронна бібліотека кафедри),
3. K. Goser, P. Glösekötter, J. Dienstuhl. Nanoelectronics and Nanosystems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 2004. – 278 p. (електронна бібліотека кафедри).
4. E.L. Wolf. Nanophysics and nanotechnology. An Introduction to modern Concepts in Nanoscience. Wiley-VCH, Verlag GBH&Co.KGaA.2004. – 185 p. (електронна бібліотека кафедри).
5. Пул Ч., Оуенс Ф. Нанотехнологии.// М: Техносфера. 2005. 336 с. (бібліотека кафедри)
6. А.П. Шпак, Ю.А. Куницький, С.Ю. Смик. Экситоника низкорозмірних ситем. – Київ, 2004. – 128 с. (бібліотека кафедри)
7. Лозовский В. Н., Константинова Г. С. , Лозовский С. В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. — СПб. Издательство «Лань», 2008.- 336 с. (НБУ ім.В.І.Вернадського)
8. Properties of Porous Silicon / Ed. L. Canham. - DERA: Malvern,UK, 1997. 405 p. (бібліотека кафедри)
9. Cullis A.G., Canham L.T., Calcott P.D.J. The structural and luminescence properties of porous silicon // J.Appl.Phys.- 1997- 82, № 3.- P.909-965. (НБУ ім.В.І.Вернадського)
10. Головань Л. А., Тимошенко В. Ю., Кашкаров П. К. Оптические свойства нанокompозитов на основе пористых систем // УФН. – 2007 – 177. С 619–638. <https://ufn.ru/ru/articles/2007/6/b/> . (НБУ ім.В.І.Вернадського)

### Інтернет ресурс:

*Бази даних та портали по нанофізиці*

A to Z Nanotechnology (www.azonano.com) - Комплексний ресурс, присвячений нанотехнологіям, підготовлений AZoNetwork Australian Online publishing company.

Nanotechnology News (phys.org) - Підтримуваний Omicron Technology Limited портал наукових новин, присвячених нанофізиці та нанотехнологіям в цілому.

Nanotechnology (www.zyvex.com) Підготовлений Ральфом Меркле (Інститут молекулярних технологій) агрегатор ресурсів по нанотехнологіям.

NanoHUB (nanohub.org) доступ до інформації та інструментам моделювання різних наноструктур та нанопристроїв.

---

<sup>3</sup> В тому числі Інтернет ресурси



Nano. The magazine for small science (www.nanomagazine.co.uk) Представлені ION Publishing LTD безкоштовні статті з журналів по нанотехнологіям

Project on Emerging Nanotechnologies (www.nanotechproject.org) Підтримуваний Pew Charitable Trust проект, присвячений історії та розвитку нанотехнологій. Представлені вільні версії відповідних досліджень.

*Nano на youtube:*

<https://www.youtube.com/watch?v=XoBeu2LGL5E>

<https://www.youtube.com/watch?v=4d2L6LhPN5A&list=PLm2F3BtpcrEjkPfVeupQu3xcQSvnBYEHW&index=28>

#### *Додаткова:*

1. Свечников С.В., Саченко А.В., Сукач Г.А. и др. Светоизлучающие слои пористого кремния: получение, свойства и применение (обзор) // Оптоэл. и полупр. техн.- 1994, вып.27.- С.3-29.
2. Лабунов В.А., Бондаренко В.П., Борисенко В.Е. Пористый кремний в полупроводниковой электронике // Зарубежная электронная техника.- 1978.- М.: ЦНИИ “Электроника”.- 1978.- 48 с.
3. Smith R.L. and Collins S.D. Porous silicon formation mechanism // J.Appl.Phys.- 1992.- 71, №8.- P.R1-R22.
4. Тимошенко В. Ю., Кудрявцев А.А. и др. Кремниевые нанокристаллы как фотосенсибилизаторы активного кислорода для биомедицинских применений // Письма в ЖЭТФ. – 2006 – 83, № 9.-. С 492–495.