

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра фізики металів



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Наноструктурований кремній: властивості та використання  
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 ОК21

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2022/2023
Семестр	4
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладачі: доцент Шевченко Вікторія Богданівна

(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 – 2022

Розробники<sup>1</sup>: Шевченко Вікторія Богданівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент 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 № 8 від «20» травня 2022 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 11 від «10» червня 2022 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 (раді 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 наноструктурованого кремнію, методами його дослідження, властивостями матеріалу з різною структурою та особливостями його використання в приладах різного призначення.

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

Успішно опанувати курси загальної фізики.

Знати теоретичні основи, що викладалися в курсах квантової механіки, фізики твердого тіла та квантової теорії твердого тіла.

Опанувати матеріал зі спецкурсів, що стосується фізики та діагностики наносистем.

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

В рамках курсу «Наноструктурований кремній: властивості та використання» розглядаються основні типи наноструктурованого кремнію, взаємозв'язок структури та властивостей нанокремнію, вивчаються основні напрямки використання даного матеріалу. Мета вивчення дисципліни – ознайомити студента з фізико-хімічними основами створення наноструктурованого кремнію, методами його дослідження, властивостями матеріалу з різною структурою та особливостями його використання в приладах різного призначення.

Навчальна задача курсу полягає в ознайомленні студентів з основними типами нанокремнію, фізичними основами та методами формування кремнієвих наноструктур, особливостями оптичних, електричних та інших властивостей кремнію в наноструктурованому стані. Результати навчання полягають в умінні визначати основні структурні характеристики наноструктурованого кремнію та фізичні причини зміни властивостей кремнію при переході від монокристалічної до наноструктурованої форми. Методи викладання: лекції, самостійна робота. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, опитування під час лекцій, залік.

**4. Завдання (навчальні цілі)** – розвиток у студентів уявлень про фізичні явища і процеси в низькорозмірних кремнієвих структурах; освоєння студентами методів отримання та способів використання кремнію в наноструктурованому стані.

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:

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Фахових:

СК01. Здатність використовувати закони та принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК02. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики.

СК03. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці фахівцям і нефахівцям.

СК05. 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.

СК08. Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси.

СК12. Здатність застосовувати теорії опису фізичних властивостей наносистем різних типів.

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

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	<i>Знати структурні та фізичні властивості різних форм наноструктурованого кремнію, методи синтезу та напрямки його використання.</i>	<i>Лекції, самостійна робота</i>	<i>Усне опитування в процесі лекцій, модульні контрольні роботи</i>	50
2.1	<i>Вміти застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження та теоретичні методи опису фізичних властивостей наноматеріалів.</i>	<i>Лекції</i>	<i>Усне опитування в процесі лекцій</i>	10

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

<b>Результати навчання дисципліни</b>	<b>1.1</b>	<b>2.1</b>
<b>Програмні результати навчання</b>		
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.	+	
РН05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних явищ, об'єктів і процесів.	+	+
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, взаємокорисно спілкуючись із колегами.	+	+
РН10. Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.	+	

PH11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.	+	+
PH13. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.	+	
PH25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.	+	

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 за темами 1-7: PH 1.1 – 25 балів / 15 балів
2. Модульна контрольна робота 2 за темами 8-15: PH 1.1 – 25 балів / 15 балів
3. Усне опитування в процесі лекцій: PH 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

**8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ, СЕМІНАРСЬКИХ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
<i>Розділ 1. Формування та основні структурні характеристики наноструктурованого кремнію</i>				
1	<b>Тема 1.</b> Вступ. Різні структурні форми нанокремнію. Наноструктурований кремній - перспективний матеріал для використання в приладах різного призначення. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Поруватий кремній - модельний об'єкт для дослідження властивостей наноструктурних матеріалів.	2		4
2	<b>Тема 2.</b> Методи синтезу поруватого кремнію. Формування матеріалу методом електрохімічного травлення: процеси, що відбуваються під час анодування. Механізми формування поруватого кремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Використання методів хімічного та фотохімічного травлення для формування поруватого кремнію.	2		4
3	<b>Тема 3.</b> Виготовлення просторово - модульованих шарів поруватого кремнію для фотоніки. Композиційні матеріали на основі поруватого кремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Особливості морфології та структури поруватих шарів та їх залежність від умов формування.	2		4
4	<b>Тема 4.</b> Модифікація поверхні поруватого кремнію. Хімія поверхні поруватого кремнію та її вплив на властивості матеріалу. Вода в порах. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Модифікація поруватого кремнію під час витримки в різних середовищах та в процесі хімічної обробки..	2		4
5	<b>Тема 5.</b> Механізм метал-індукованого травлення кремнію. Методи формування кремнієвих нанониток. Синтез нанониток за механізмом пар-рідина-кристал.. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Структура, властивості та застосування масивів кремнієвих нанониток.	2		4
6	<b>Тема 6.</b> Синтез кремнієвих нанокристалітів. Фізичні, фізико-хімічні та хімічні методи виготовлення нанокремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2		2

	Формування кремнієвих нанокристалів в діелектричних матрицях та ізольованих наночастинок кремнію.			
7	<b>Тема 7.</b> Методи дослідження і контролю структури і властивостей нанокремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Нові рентгенівські дифракційні методи аналізу мікроструктури і морфології нанокристалічних порошків.	2		4
	<i>Контрольна робота 1</i>			2
<b>Розділ 2. Фізичні властивості наноструктурованого кремнію та перспективні напрямки його використання..</b>				
8	<b>Тема 8.</b> Квантові розмірні ефекти в нанокремнії. Люмінесценція. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Моделі, що пояснюють природу фотолюмінесценції наноструктурованого кремнію.	2		2
9	<b>Тема 9.</b> Вплив молекулярного оточення на люмінесцентні властивості поруватого та нанокристалічного кремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Фотосенсибілізована генерація синглетного кисню у поруватому кремнії.	2		4
10	<b>Тема 10.</b> Адсорбція на поверхні поруватого кремнію. Сенсори на основі цього матеріалу. Адсорбційна чутливість напівпровідникових структур на основі мікро-, макро- та нанопоруватого кремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Адсорбційна чутливість електропровідності напівпровідників.	2		4
11	<b>Тема 11.</b> Оптичні властивості нанокомпозитів на основі поруватого кремнію, середовищ з нанокремнієм та щільних кремнієвих структур. Багатошарові поруваті структури. Створення світловодних елементів. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Інтерференційний фільтр Фабрі–Перо. Фотонні кристали.	2		4
12	<b>Тема 12.</b> Застосування наноструктурованого кремнію в біомедицині та біотехнологіях. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Використання поруватого кремнію в якості робочого елемента біологічних сенсорів.	2		4
13	<b>Тема 13.</b> Застосування нанокремнію в сонцезахистних засобах. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Особливості росту nanoострівців германію на кремнії.	2		4
14	<b>Тема 14.</b> Застосування нанокремнію в сонячній	2		4

	енергетиці. Кремнієві сонячні елементи. Підвищення ККД сонячних елементів за допомогою нанокристалічного кремнію. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Антивідбиваючі покриття для сонячних елементів. Використання кремнієвих нанониток в сонячних елементах.			
15	<b>Тема 15.</b> Кремнієва одноелектроніка. Базова теорія кулонівської блокади. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Реалізація одноелектронних приладів. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.	2		4
	<i><b>Підсумкова модульна контрольна робота</b></i>			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.



## 9. Рекомендовані джерела:

### Основна:

1. Шевченко В.Б. Поруватий кремній: синтез, властивості, використання. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2019. – 132 с. (Національна бібліотека України імені В. І . Вернацького, *шифр НБУВ: ВА833895*, бібліотека кафедри фізики металів, друк.)
2. Ісаєв М.В., Шевченко В.Б., Войтенко К.В. Синтез та методи дослідження поруватого кремнію – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – 128 с. (Національна бібліотека України імені В. І . Вернацького, *шифр НБУВ: ВА820369*, бібліотека кафедри фізики металів, друк.)
3. Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 648 с. ([https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_1781355](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1781355))
4. Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности. – Новосибирск: Из-во Новосибирского университета, 2000. – 448 с. (Бібліотека кафедри фізики металів, електр.)
5. Korotcenkov G. Porous Silicon: From Formation to Application, Vol. 1. – Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton, USA, 2015. – 432 p. (Бібліотека кафедри фізики металів, електр.)
6. Дяденчук А. Ф., Кідалов В. В. Отримання поруватих напівпровідників методом електрохімічного травлення : Монографія.– Бердянськ : БДПУ, 2017. – 111 с. (Національна бібліотека України імені В. І . Вернацького, *шифр НБУВ: ВА820323*)
7. Головань Л. А., Тимошенко В. Ю., Кашкаров П. К. Оптические свойства наноконструкций на основе пористых систем // УФН. – 2007 – 177. С 619–638. (<https://ufn.ru/ru/articles/2007/6/b/>, бібліотека кафедри фізики металів, електр.)
8. Sailor M. J. Porous Silicon in Practice: Preparation, Characterization and Applications. –Wiley-VCH, 2011. – 262 p. (Бібліотека кафедри фізики металів, електр.)

### Додаткова:

1. Korotcenkov G.; Cho B. K. Silicon Porosification: State of the Art // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 2010, - 35, P.153.
2. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний – материал нанoeлектроники. – Москва: Техносфера. 2007. – 352с.
3. Schmidt V., Wittmann J. V., Senz S., Gösele U.V. Silicon Nanowires: A Review on Aspects of their Growth and their Electrical Properties // Adv. Mater. 2009, Vol. 21, P. 2681.
4. Вашпанов Ю.А., Смынтына В.А. Адсорбционная чувствительность полупроводников.- Одесса: Астропринт. 2005.-216 с.
5. Оленич І. Б., Монастирський Л. С., Коман Б. П. Електричні властивості оксидокремнієвих гетероструктур на основі поруватого кремнію // Український фізичний журнал. - 2017. - N 2. - С. 166-171.
6. Кідалов В. В. Кукушкін С. А., Осіпов А. В., Редьков А. В. та Гетероепітаксійний ріст SiC на підкладках поруватого Si методом заміщення атомів // Журнал нано- та електронної фізики. – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 03026 (6с).
7. Оленич І.Б., Монастирський Л.С., Свелеба С.А., Лучечко А.П., Ярицька Л.І. Фотолюмінесценція гібридних структур поруватий кремній - марганцехлорид тетраметиламонію // Журнал нано- та електронної фізики. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 01015(5с)