

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра фізики металів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи
Момот О.В.
2022 року

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 **OK21**

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 2023/2024 н.р. [підпис] (підпис, ПІБ, дата) «31» 08 2023р.
на 2024/2025 н.р. [підпис] (підпис, ПІБ, дата) «07» 06 2024р.
на 2025/2026 н.р. [підпис] (підпис, ПІБ, дата) «23» 05 2025р.

КИЇВ – 2022

Розробники¹: 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)

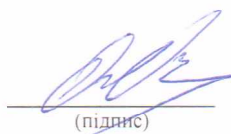
(Курилюк В.В.)
(прізвище та ініціали)

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)

¹ 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 та фізики твердого тіла.

Опанувати матеріал зі спецкурсів, що стосується фізики 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, усне опитування в процесі лекцій, доповіді, 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 нефаківцям.

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)

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 структурні та фізичні властивості різних форм наноструктурованого кремнію, методи синтезу та напрямки його використання.	Лекції, самостійна робота	Усне опитування в процесі лекцій, модульні контрольні роботи	40
2.1	Вміти застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження та теоретичні методи опису фізичних властивостей наноматеріалів.	Лекції	Усне опитування в процесі лекцій, доповіді	20

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

Результати навчання дисципліни	1.1	2.1
Програмні результати навчання		
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, взаємодіючи 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.	+	
РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.	+	+

РН13. 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.	+	
РН25. 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: РН 1.1 – 20 балів / 12 балів
2. Модульна контрольна робота 2 за темами 8-15: РН 1.1 – 20 балів / 12 балів
3. Усне опитування в процесі лекцій, доповіді: РН 1.1, 2.1 – 20 балів / 12 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

Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

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

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

6	Тема 6. Синтез кремнієвих нанокристалітів. Фізичні, фізико-хімічні та хімічні методи виготовлення нанокремнію. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Формування кремнієвих нанокристалітів в діелектричних матрицях та ізольованих наночастинок кремнію.	2		2
7	Тема 7. Методи дослідження і контролю структури і властивостей нанокремнію. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Нові рентгенівські дифракційні методи аналізу мікроструктури і морфології нанокристалічних порошків.	2		4
	Модульна контрольна робота 1			2
Розділ 2. Фізичні властивості наноструктурованого кремнію та перспективні напрямки його використання.				
8	Тема 8. Квантові розмірні ефекти в нанокремнії. Люмінесценція. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Моделі, що пояснюють природу фотолюмінесценції наноструктурованого кремнію.	2		2
9	Тема 9. Вплив молекулярного оточення на люмінесцентні властивості поруватого та нанокристалічного кремнію. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Фотосенсибілізована генерація синглетного кисню у поруватому кремнії.	2		4
10	Тема 10. Адсорбція на поверхні поруватого кремнію. Сенсори на основі цього матеріалу. Адсорбційна чутливість напівпровідникових структур на основі мікро-, макро- та нанопоруватого кремнію. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Адсорбційна чутливість електропровідності напівпровідників.	2		4
11	Тема 11. Оптичні властивості нанокомпозитів на основі поруватого кремнію, середовищ з нанокремнієм та щільних кремнієвих структур. Багатошарові поруваті структури. Створення світловодних елементів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Інтерференційний фільтр Фабрі–Перо. Фотонні кристали.	2		4
12	Тема 12. Застосування наноструктурованого кремнію в біомедицині та біотехнологіях. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Використання поруватого кремнію в якості робочого елементу біологічних сенсорів.	2		4

13	Тема 13. Розробка наноструктурованих кремнієвих матеріалів для анодів літій-іонних акумуляторів. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Особливості росту наноострівців германію на кремнії.	2		4
14	Тема 14. Застосування нанокремнію в сонячній енергетиці. Кремнієві сонячні елементи. Підвищення ККД сонячних елементів за допомогою нанокристалічного кремнію. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Антивідбиваючі покриття для сонячних елементів. Використання кремнієвих нанониток в сонячних елементах.	2		4
15	Тема 15. Кремнієва одноелектроніка. Базова теорія кулонівської блокади. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Реалізація одноелектронних приладів. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.	2		4
	Модульна контрольна робота 2			2
	ВСЬОГО	30		60

Загальний обсяг 90 год., 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.

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 . Вернадського, *шифр НБУВ: BA833895*, 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 . Вернадського, *шифр НБУВ: BA820369*, бібліотека кафедри фізики металів, друк.)
3. Korotcenkov G. Porous Silicon: From Formation to Application, Vol. 1. – Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton, USA, 2015. – 432 p.
4. Дяденчук А. Ф., Кідалов В. В. Отримання поруватих напівпровідників методом електрохімічного травлення : Монографія.– Бердянськ : БДПУ, 2017. – 111 с. (Національна бібліотека України імені В. І . Вернадського, *шифр НБУВ: BA820323*)
5. Sailor M. J. Porous Silicon in Practice: Preparation, Characterization and Applications. –Wiley-VCH, 2011. – 262 p.
6. Tieu T., Alba M., Elnathan R., Cifuentes-Rius A., Voelcker N. H. Advances in Porous Silicon–Based Nanomaterials for Diagnostic and Therapeutic Applications // Adv. Therap., 2018, - Vol. 2, no. 1. P. 1800095.
7. Wang W., Liu W., Wang Y., Gu S., and Zheng H. Advances In The Research Of Porous Silicon Anodes For Lithium-Ion Batteries // Chemical Engineering Journal, 2025, - Vol. 523, P. 168393.
8. Santos H. A. (eds). Porous Silicon for Biomedical Applications. - Elsevier: Amsterdam, 2021; - 624 p. ISBN 978-0-12-821677-4.
9. Canham L (eds). Handbook of Porous Silicon. - Springer Cham, 2016; - 1000 p.

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. Schmidt V., Wittemann 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.
3. 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.
4. Mikolajick T., Weber W.M. Silicon Nanowires: Fabrication and Applications. In: Li, Q. (eds) Anisotropic Nanomaterials. NanoScience and Technology. Springer, Cham, 2015. P. 1-29.
5. Shevchenko V., Datsenko O., Teselko P. “Surface Modification of Luminescent Porous Silicon by Aqueous Solutions of Amino Acids“, Proceedings of the 2022 IEEE 12th International Conference "Nanomaterials: Applications and Properties“ (NAP 2022), Krakow, - 2022 P. 1.
6. Veremeichyk T.V., Makarenko O.V., Shevchenko V.B., Ivanchuk S.Y., Rybalochka A.V. Investigation of multilayer samples of porous silicon with periodic structure by spectroscopic ellipsometry // Low Temperature Physics, - 2025, Vol. 51. P. 239.