

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ТА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ ім. В.І.ВЕРНАДСЬКОГО

ЗАТВЕРДЖЕНО
Вченою радою Інституту загальної та неорганічної хімії
ім. В.І. Вернадського НАН України
протокол № 8
від « 04 » вересня 2025 року

Голова Вченої ради Інституту

Солопан
Сергій СОЛОПАН



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (СИЛАБУС)
ХІМІЯ ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКІВ**

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти: **Третій (освітньо - науковий)**

Галузь знань: **10 Природничі науки**

Спеціальність: **102 Хімія**

Освітньо- наукова програма: **Неорганічна і координаційна хімія, фізична хімія, електрохімія**

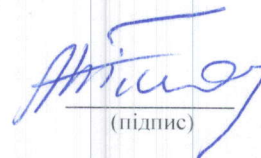
Київ
2025

Робоча програма навчальної дисципліни «Хімія поверхні напівпровідників» -
Київ, 2025 - 11 с.

РОЗРОБНИКИ РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ:

Білоус Анатолій Григорович

доктор хімічних наук, професор, академік НАН України


(підпис)

Погоджено із гарантом ОНП



Анатолій ОМЕЛЬЧУК

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України
протокол № 8
від «04» вересня 2025 року

Вчений секретар Інституту



Людмила ЛИСЮК

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни
Загальна кількість: кредитів – 2 годин – 60 змістових модулів –1	Обов'язкова дисципліна
	Рік підготовки 2 курс
	Лекції -16 годин
	Практичні - 8годин
	Консультації - 4 год
	Самостійна робота – 32 годин
	Форма підсумкового контролю: екзамен

Хімія поверхні напівпровідників - область науки, що вивчає поверхневі явища в напівпровідниках. Основними напрямками досліджень є вивчення природи активних центрів поверхні, дослідження енергетичного спектра електронів на поверхні і особливостей електричних, фотоелектричних та оптичних явищ на поверхні та в приповерхневій області, механізмів адсорбції і хімічних реакцій у поверхневому шарі, розроблення наукових основ технології хімічного модифікування поверхні твердих тіл, створення на основі твердих тіл нових матеріалів із наперед заданими властивостями, дослідження кристалічної структури, природи та властивостей дефектів, хімічного складу поверхневих шарів та адсорбційних покриттів.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета Вивчення процесів, які протікають на поверхні напівпровідників і їх впливу на електрофізичні властивості для розробки напівпровідникових приладів, ознайомлення з перспективними класами матеріалів на основі оксидів, які використовуються при розробці систем генерації і збереження енергії, при розробці сучасних систем зв'язку та при лікуванні ряду захворювань.

Завдання. Формування сучасного рівня знань і вмінь в області хімії поверхні напівпровідників. Вивчення структурних особливостей та методів отримання напівпровідників для практичного їх використання. Дослідження процесів, які відбуваються на поверхні кристалічних матеріалів, що має визначальне значення при розробці напівпровідникових плівкових елементів, умови їх одержання, вплив

різноманітних факторів на їх властивості. Узагальнення структурних особливостей кристалічних неорганічних функціональних матеріалів і їх зв'язок з природою хімічного зв'язку і електрофізичними властивостями матеріалів.

Формування навичок і вмінь практичного використання отриманих знань, використання нових методів та підходів до вирішення різноманітних наукових і прикладних проблем, пов'язаних з неорганічною хімією.

Предмет дисципліни хімія та хімічні науки

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

а) загальних :

ЗК1, ЗК2, ЗК4, ЗК5, ЗК7, ЗК8

б) спеціальних/фахових (СК/ФК):.

СК1, СК2, СК5, СК9

Програмні результати навчання (ПРН): ПРН 2, ПРН 3, ПРН 5, ПРН 16, ПРН 17, ПРН 20.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен

Знати: Області застосування функціональних матеріалів. Енергетичний спектр електрона в обмеженому кристалі. Таманівські поверхневі стани. Поверхневі рівні типу Шоклі. Об'ємний заряд біля поверхні напівпровідника. Вид області просторового заряду. Збіднена область. Інверсійний шар. Збагачена область. Перенос електронів і дірок між об'ємом і поверхнею твердого тіла. Природа фізичної та хімічної адсорбції. Типи фізичної адсорбції. Відмінності фізичної і хімічної адсорбції. Аніонна адсорбція на напівпровідниках з провідністю n типу. Катіонна адсорбція на кристалах з провідністю p типу. Безвипромінювальна рекомбінація і випромінювальна рекомбінація. Напівпровідникові інжекційні лазери. Прямозонні напівпровідники. Спонтанна і вимушена рекомбінації. Дебаївська і дифузійна довжини. «Ефект поля» в напівпровідниках. Центри захоплення на поверхні напівпровідника і на поверхні оксидної плівки. Випромінювальна і безвипромінювальна рекомбінація. Атомарно чиста і реальна поверхня напівпровідників.

Вміти. Використовувати набуті знання про напівпровідники та функціональні матеріали для виконання стратегічних і поточних завдань у широкому діапазоні робочих ситуацій та повсякденному житті.

Міждисциплінарні зв'язки.

Навчальна дисципліна «**Хімія поверхні напівпровідників**» згідно з навчальним планом належить до циклу дисциплін професійної підготовки, яка викладається на 2 курсі аспірантури. Базою для вивчення даної дисципліни є курси “Неорганічна хімія”, “Хімія матеріалів”, “Фізична хімія”, “Кристалохімія”, “Фізика напівпровідників”, що вивчаються за напрямками підготовки спеціалістів, магістрів спеціальності “Хімія”.

Матеріал курсу слугує теоретичною основою для формування умінь і навичок, необхідних для ефективної дослідницької роботи, аналізу прикладних аспектів в галузі неорганічної хімії із застосуванням фундаментальних знань для розв'язання практичних задач.

3. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ.

Тема 1. Функціональні матеріали.

Функціональні матеріали. Области застосування функціональних матеріалів на основі елементів періодичної системи. Методи синтезу функціональних матеріалів на основі оксидних систем. Особливості методу твердофазних реакцій, золь-гель методу, методу осадження з водних розчинів, з розчину диетиленгліколю, методу з обернених мікроемульсій.

Тема 2. Симетрія кристалів.

Симетрія кристалів. Структура кристалів та просторова ґратка. Теореми про поєднання елементів симетрії. Точкові групи. Кристалографічні категорії, сингонії, системи осей координат. Просторові групи. Ґратки Браве. Граничні групи симетрії.

Тема 3. Енергетичний спектр електрона в обмеженому кристалі. Поверхневі стани та поверхневі рівні. Адсорбція.

Енергетичний спектр електрона в обмеженому кристалі. Таманівські поверхневі стани. Поверхневі рівні типу Шоклі. Об'ємний заряд біля поверхні напівпровідника. Вид області просторового заряду. Збіднена область. Інверсійний шар. Збагачена область. Перенос електронів і дірок між об'ємом і поверхнею твердого тіла. Природа фізичної та хімічної адсорбції. Типи фізичної адсорбції. Відмінності фізичної і хімічної адсорбції. Аніонна адсорбція на напівпровідниках з провідністю n типу. Катіонна адсорбція на кристалах з провідністю p типу

Тема 4. Методи дослідження поверхні напівпровідників. Атомарно чиста і реальна поверхня напівпровідників.

Діелектрики. Спонтано поляризований стан. Механізми поляризації діелектриків. Сегнетоелектрики. П'єзоматеріали. Прямий та обернений п'єзоефект. В яких точкових групах не виникає п'єзоефект? Магнітні матеріали. Природа виникнення магнітних властивостей в матеріалах. Типи магнітного упорядкування. Позисторний ефект: умови для його виявлення. Літійпровідні матеріали. Структурні особливості; виникнення суперіонного стану; фактори що впливають на транспортні властивості; особливості використання. Основні класи складних оксидів з Li-провідністю. НВЧ-діелектрики. Основні структурні типи. Особливості технології. Основні електромагнітні характеристики; доменна структура, процеси намагнічування, частотні характеристики; феромагнітний резонанс

4. Теми лекційних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
Лекція 1	Функціональні матеріали. Области застосування функціональних матеріалів на основі елементів періодичної системи.	2 год
Лекція 2	Методи синтезу функціональних матеріалів на основі оксидних систем. Особливості методу твердофазних реакцій, золь-гель методу, методу осадження з водних розчинів, з розчину диетиленгліколю, методу з обернених мікроемульсій.	2 год
Лекція 3	Симетрія кристалів. Структура кристалів та просторова гратка. Теореми про поєднання елементів симетрії. Точкові групи.	2 год
Лекція 4	Кристаліграфічні категорії, сингонії, системи осей	2 год

	координат. Просторові групи. Гратки Браве. Граничні групи симетрії	
Лекція 5	Енергетичний спектр електрона в обмеженому кристалі. Таманівські поверхневі стани. Поверхневі рівні типу Шоклі. Об'ємний заряд біля поверхні напівпровідника. Вид області просторового заряду. Збіднена область. Інверсійний шар. Збагачена область.	2 год
Лекція 6	Перенос електронів і дірок між об'ємом і поверхнею твердого тіла. Природа фізичної та хімічної адсорбції. Типи фізичної адсорбції. Відмінності фізичної і хімічної адсорбції. Аніонна адсорбція на напівпровідниках з провідністю n типу. Катіонна адсорбція на кристалах з провідністю p типу	2 год
Лекція 7	Безвипромінювальна рекомбінація і випромінювальна рекомбінація. Напівпровідникові інжекційні лазери. Прямозонні напівпровідники. Спонтанна і вимушена рекомбінації. Дебаївська і дифузійна довжини. «Ефект поля» в напівпровідниках. Центри захоплення на поверхні напівпровідника і на поверхні оксидної плівки. Випромінювальна і безвипромінювальна рекомбінація. Атомарно чиста і реальна поверхня напівпровідників.	2 год
Лекція 8	Методи дослідження поверхні напівпровідників. Атомарно чиста і реальна поверхня напівпровідників.	2 год

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені.

6. Теми практичних занять

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Особливості методу твердофазних реакцій.	2 год
2.	Золь-гель метод синтезу матеріалів. Переваги та недоліки.	2 год
3.	Типи симетрії. Вплив симетрії на властивості матеріалів.	2 год
4.	Напівпровідникові і магнітні матеріали. Ефект гігантського магнетоопору.	2 год

7. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені.

8. Самостійна робота

№, з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Функціональні матеріали цільового призначення	4 год
2.	Основні методи синтезу матеріалів: переваги та недоліки	4 год
3.	Симетрія в хімії. Типи зв'язків в кристалах. Щільність упаковок.	4 год
4.	Фазові переходи. Поліморфізм.	4 год.
5.	Енергетичний спектр електрона, квантово-механічні засади наноелектроніки.	4 год
6.	Адсорбційні процеси в напівпровідниках.	4 год
7.	Збіднення, збагачення і інверсія в напівпровідниках	4 год
8.	Особливості використання напівпровідників в каталізі	4 год

9. Форми контролю і методи оцінювання

(у т.ч. критерії оцінювання результатів навчання)

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення лекційних та практичних занять:

- участь в обговоренні дискусійних питань (2-5 балів)
- доповіді, презентації на запропоновані теми практичних занять (10-20 балів).

10. Питання для підсумкового контролю

1. Енергетичний спектр електронів у кристалі.
2. Чим напівпровідники відрізняються від металів (по провідності, по структурі енергетичних зон)?
3. Що таке власна провідність і домішкова провідність?
4. Як визначається провідність в напівпровіднику?
5. Що дає вирішальний вклад в температурну залежність провідності в напівпровіднику?
6. Яку інформацію можна отримати, використовуючи ефект Хола?
7. Як визначити по температурній залежності провідності ширину забороненої зони в напівпровіднику?
8. Що таке вироджений стан?
9. Що таке рухливість в напівпровіднику? Як змінюється величина рухливості від температури?
10. Що таке безвипромінювальна рекомбінація і випромінювальна рекомбінація?
11. Що таке прямозонні напівпровідники?

12. Що таке інверсійна заселеність?
13. Що таке спонтана і вимушена рекомбінації?
14. Що таке гетероструктури?
15. Що таке «накачування» в напівпровідникових інжекційних лазерах?
16. Як змінюється ширина розщеплення енергетичного рівня з підвищенням рівня енергії індивідуального атому? Як змінюється ширина заборонної зони з підвищенням рівня енергії індивідуального атому?
17. Що таке рівні Тамма і рівні Шоклі?
18. Що таке фізична і хімічна сорбція?
19. Що таке аніонна і катіонна адсорбція?
20. Об'ємний заряд в приповерхневому шарі напівпровідника.
21. Як визначити заряд поверхності і вигин енергетичних зон із даних вимірювання провідності і роботи виходу електронів?
22. На яку товщину скривлюються енергетичні зони в напівпровіднику і металі?
23. По якому закону змінюється скривлення енергетичних зон в n напівпровіднику при збідненні?
24. Що таке Дебаївська довжина і дифузійна довжина? Які їх величини?
25. Як реалізувати метод «Ефект поля в напівпровідниках»?
26. Чим відрізняються центри захоплення на поверхні напівпровідника і на поверхні оксидної плівки, яка утворюється на поверхні напівпровідника?
27. Що таке «Рекомбінація нерівноважних носіїв заряду»?
28. При якій ширині заборонної зони відбувається міжзонна рекомбінація?
29. Якими параметрами описуються поверхневі центри рекомбінації?
30. Коли відбувається рекомбінація за участю локалізованих станів?
31. Властивості атомарно чистої поверхні напівпровідників.
32. Що таке реальна поверхня напівпровідника?
33. Як проводять хімічну пасивацію поверхні напівпровідників?
34. Як проводять фізичну пасивацію поверхні напівпровідників?
35. Як впливає поверхня напівпровідника на роботу напівпровідникових приладів?

11. Розподіл балів

Форма для іспиту

Поточний та періодичний контроль	Підсумковий контроль	Сума балів
Змістовий модуль №1	(іспит)	
60	40	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C	задовільно	
64-73	D		
60-63	E		
35-59	Fx	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

12. Рекомендована література

Основна

1. West, A. (2022). Solid State Chemistry and its Applications (2nd ed.). Wiley. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/3454161/solid-state-chemistry-and-its-applications-pdf> (Original work published 2022)
2. Білоус А.Г., Кобилянська С.Д. Оксидні літій провідні тверді електроліти. Київ «Наукова думка», 2018р, с.318.
3. Callister W. D. Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th Edition / W. D. Callister, D. G. Rethwisch. – Hoboken, NJ: Wiley, 2018. – 975 с.
4. Корнілович Б. Ю. Фізико–хімія сучасних неорганічних матеріалів [Електронний ресурс] / Б. Ю. Корнілович, І. В. Пилипенко, І. А. Ковальчук // Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42130/1/Neorh_material.pdf.

Додаткова

1. Білоус А.Г. Високодобротні надвичокочастотні діелектрики. Київ «Наукова думка», 2016р, с.218.
2. Поплавко Ю.М. Фізика діелектриків. Київ. НТУУ «КПІ», 2015, с.568.
3. Шемет В.Я., Гулай О.І. С-44 ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА: Навчальний посібник. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – 212 с.. ISBN 978-617-672-100-0
4. Хімія твердого тіла (короткий курс): підручник С.І. Пінчук, О.Е. Чигиринець. – Київ : Видавничий дім АртЕк, 2018. – 124 с
5. Пека Г.П. Фізика поверхні напівпровідників. В-во Київського університету, 1967, 190г.
6. Під редакцією В.И.Ляшенко. Електронні явища на поверхні напівпровідників . Наукова думка. Київ. 1968. 400с.
7. Речовина в інтерфазі. Фізична хімія тонких плівок: навчальний посібник / – Львів: ЛНУ, 2005. – 226 с.
8. Афтандіянц Є. Г. Матеріалознавство: підручник / Є. Г. Афтандіянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатько. — Херсон: ОЛДІ-плюс; К.: Ліра-К, 2013. — 612 с.
9. Fahlman B. D. Materials Chemistry. Second Edition / Bradley D. Fahlman. – New York: Springer, 2011. – 749 с.