

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Кафедра**

**мікро- та наноелектроніки**  
(найменування кафедри)

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ХІМІЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ**  
(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма:

**«Якість, стандартизація та сертифікація»**  
(назва освітньої програми)

Спеціальність:

**152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»**  
(найменування спеціальності)

Галузь знань:

**15 «Автоматизація та приладобудування»**  
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти:

**Перший (бакалаврський)**  
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри  
**Мікро- та наноелектроніки**  
(найменування кафедри)

Протокол №1 від «28» 08 20 20 р.

м. Запоріжжя 2020

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	ППВ 03 Хімія наноструктурованих матеріалів Навчальна дисципліна вибіркового компонента циклу професійної підготовки
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший (бакалаврський) рівень
<b>Викладач</b>	Коротун Андрій Віталійович, к. ф.-м.н., доцент, доцент кафедри мікро- та наноелектроніки
<b>Контактна інформація викладача</b>	Робочий телефон: +380617698367, e-mail: <a href="mailto:andko@zp.edu.ua">andko@zp.edu.ua</a>
<b>Час і місце проведення навчальної дисципліни</b>	Згідно до розкладу занять.
<b>Обсяг дисципліни</b>	<b>Кількість годин</b> – загальний обсяг 180 годин <b>кредитів</b> – 6 кредитів ECTS <b>розподіл годин:</b> 30 годин лекційних, 30 годин практичних, 14 годин лабораторних, 90 годин самостійна робота, 16 годин індивідуальна робота, <b>вид контролю</b> – іспит.
<b>Консультації</b>	Згідно з графіком консультацій.
<b>2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни</b>	
<p><b>Пререквізити</b> <u>Дисципліни:</u> ЗПН 05 – «Фізична хімія»,» ППВ 01 – «Матеріали мікро- та наноелектроніки» / «Перспективні функціональні неорганічні матеріали» / «Сучасні методи дослідження матеріалів».</p> <p><b>Постреквізити</b> <u>Дисципліни:</u> ППН 04 – «Твердотіла електроніка», ППН 09 – «Механіка мікро- і наносистем», ППН 11 – «Елементи та прилади наноелектроніки».</p>	
<b>3. Характеристика навчальної дисципліни</b>	
<p>Вивчення навчальної дисципліни «Хімія наноструктурованих матеріалів» ознайомить студентів із основними проблемами та напрямками розвитку сучасного матеріалознавства і суміжних наук таких, як хімія твердого тіла та неорганічних матеріалів, фізика конденсованого стану, електроніка, нанохімія тощо, а також технологій, імпульс розвитку яких стимулює ці дослідження.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент отримає <b>інтегральну компетентність:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми метрології та інформаційно-виміральної техніки, які характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, що передбачає застосування теорій та методів метрології, способів побудови засобів автоматизації та приладобудування;</li> </ul> <p><b>загальні компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях;</li> <li>➤ здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;</li> <li>➤ навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;</li> <li>➤ здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел;</li> <li>➤ здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;</li> </ul> <p><b>фахові компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах;</li> </ul> <p><b>очікувані програмні результати навчання:</b></p>	

- вміти вибирати, виходячи з технічної задачі, стандартизований метод оцінювання та вимірювального контролю характерних властивостей продукції та параметрів технологічних процесів;
- вільно володіти термінологічною базою спеціальності, розуміти науково-технічну документацію державної метрологічної системи України, міжнародні та міждержавні рекомендації та настанови за спеціальністю.

#### **4. Мета вивчення навчальної дисципліни**

Ознайомлення студентів з основними проблемами та напрямками розвитку сучасного матеріалознавства і суміжних наук таких, як хімія твердого тіла та неорганічних матеріалів, фізика конденсованого стану, електроніка, нанохімія тощо, а також технологій, імпульс розвитку яких стимулює ці дослідження.

#### **5. Завдання вивчення дисципліни**

- ознайомлення студентів із:
- термодинамічними основами процесів утворення наноструктур;
  - термодинамікою поверхневих явищ і дисперсних систем; властивостями наноматеріалів, розмірними термодинамічними ефектами;
  - сучасними технологіями створення наноматеріалів;
  - принципами математичного моделювання наносистем;
  - методами фазового аналізу нанорозмірних систем.

#### **6. Зміст навчальної дисципліни**

##### **Змістовий модуль 1. Хімічний зв'язок. Поверхневі явища**

###### **Вступ.**

Загальна характеристика наноматеріалів і нанотехнологій. Класифікація наноструктурованих матеріалів.

###### **Тема 1. Атомно-молекулярна структура наночастинок і наносистем.**

Конденсовані середовища. Типи зв'язків у твердих тілах. Симетрія і кристалічні ґратки у твердих тілах.

Атомний порядок та його вплив на властивості наноструктур.

###### **Тема 2. Процеси на поверхні та у приповерхневих шарах.**

Розмірні ефекти. Роль поверхні і приповерхневих явищ. Позначення та індексація поверхневих структур. Перебудови ґратки поблизу поверхні.

Сили зображення і лінійного натягу. Дебаївське екранування.

Атомні дефекти поверхні. Атомарні процеси на поверхні.

Електронні властивості ідеальної поверхні. Співвідношення об'ємних та поверхневих сил.

###### **Тема 3. Термодинаміка поверхневих шарів і міжфазних меж.**

Способи опису нанооб'єктів. Загальна характеристика поверхні.

Елементи термодинаміки плоскої поверхні.

Термодинаміка викривлених поверхонь. Капілярний тиск. Тиск насиченої пари частинок малих розмірів (формула Гіббса – Томсона). Температура плавлення частинок малих розмірів.

##### **Змістовий модуль 2. Нерівноважні процеси. Адсорбція та формування нової фази.**

###### **Тема 4. Термодинаміка нерівноважних процесів.**

Принцип локальної рівноваги. Самоорганізація систем.

###### **Тема 5. Адсорбційні явища на поверхні твердих тіл.**

Загальна характеристика адсорбційних процесів. Фізична і хімічна адсорбція.

Кінетика мономолекулярної адсорбції та двовимірна конденсація. Модель адсорбції Ленгмюра. Рівняння ізотерми Генрі та ізотерми Ленгмюра. Рівняння кінетики недисоціативної адсорбції.

Латеральна взаємодія та двовимірна конденсація. Латеральна взаємодія при локалізованій моношаровій адсорбції.

Полімолекулярна адсорбція. Модель адсорбції Брунауера – Еммета – Теллера (модель БЕТ). Модель полімолекулярної адсорбції Полянї.

Капілярна конденсація у мезопористих адсорбентах. Адгезія наночастинок. Адгезія нанокрапель і змочування.

### **Тема 6. Термодинаміка і кінетика процесів формування нової фази.**

Рушійні сили процесу кристалізації та зародкоутворення. Об'ємне пересичення у первинній фазі. Поняття про критичний зародок.

Термодинаміка і кінетика процесу зародкоутворення. Термодинаміка гомогенного зародкоутворення. Термодинаміка гетерогенного зародкоутворення. Кінетика процесу зародкоутворення.

Основні стадії і механізми формування шарів нової фази. Зародковий механізм росту Фольмера – Вебера. Механізм Франка – Ван-дер-Мерве. Пошаровий беззародковий механізм. Механізм Странського – Крастанова.

Спіральний механізм росту. Особливості зростання наноструктур на фа-сетованих поверхнях.

### **Змістовий модуль 3. Матеріали і методи нанотехнологій.**

#### **Тема 7. Неорганічні наноматеріали.**

Кластери. Наночастинки і нанопорошки  
Об'ємні наноструктурні матеріали.

#### **Тема 8. Вуглецеві наноструктурні матеріали.**

Класифікація алотропних модифікацій вуглецю. Кристалічні алотропи вуглецю. Наноалотропи вуглецю. Фулерени. Нанотрубки. Графен. Інші наноалотропи вуглецю.

#### **Тема 9. Нанокмпозиційні матеріали.**

Нановіскери. Нанопористі матеріали.  
Рідкі кристали. Полімерні, біологічні та біосумісні матеріали. Молекулярні ланцюгові структури

#### **Тема 10. Фрактальні структури.**

Поняття фрактала. Афінна геометрія. Математичні фрактали. Фрактальна розмірність. Реальні фрактали. Перколяція. Фрактальні кластери. Властивості фрактальних кластерів.

Реальні фрактальні структури. Модельні механізми формування фракталів. Методи визначення фрактальної розмірності реальних фракталів. Фізичні методи вимірювання фрактальної розмірності.

Фрактальний аналіз процесу кристалізації. Механізм кластер-кластерної агрегатизації. Фрактальна еволюція полікристалічної структури.

Фрактальні структури. Фрактони та їх властивості. Методи одержання фрактальних структур у мікро- та нанотехнології. Концепція мультифрактала

#### **Тема 11. Методи одержання наноструктурованих матеріалів.**

Класифікація способів одержання наноструктур. Диспергування «зверху – вниз» та конденсація «знизу – вгору».

Конденсаційні способи. Комбіновані та спеціальні способи.

### **7. План вивчення навчальної дисципліни**

<b>№ тижня</b>	<b>Назва теми</b>	<b>Форми організації навчання</b>	<b>Кількість годин</b>
1.	Вступ.	Лекція	2
1.	Атомно-молекулярна структура наночастинок і наносистем	Практичне заняття	2
1.	Моделювання коливань двоатомної молекули в середовищі MathCad	Лабораторне заняття	2
2.	Тема 1. Атомно-молекулярна структура наночастинок і наносистем.	Лекція	2

2.	Атомно-молекулярна структура наночастинок і наносистем	Практичне заняття	2
3.	Тема 2. Процеси на поверхні та у приповерхневих шарах.	Лекція	2
3.	Процеси на поверхні та у приповерхневих шарах	Практичне заняття	2
3.	Квантово-хімічне моделювання конденсованого стану та наноматеріалів	Лабораторне заняття	2
4.	Тема 3. Термодинаміка поверхневих шарів і міжфазних меж.	Лекція	2
4.	Термодинаміка поверхневих шарів і міжфазних меж	Практичне заняття	2
5.	Тема 4. Термодинаміка нерівноважних процесів.	Лекція	2
5.	Термодинаміка нерівноважних процесів	Практичне заняття	2
5.	Квантово-хімічне моделювання конденсованого стану та наноматеріалів	Лабораторне заняття	2
6.	Тема 5. Адсорбційні явища на поверхні твердих тіл.	Лекція	2
6.	Адсорбційні явища на поверхні твердих тіл	Практичне заняття	2
7.	Тема 6. Термодинаміка і кінетика процесів формування нової фази.	Лекція	2
7.	Модульний контроль І	Практичне заняття	2
8.	Тема 7. Неорганічні наноматеріали.	Лекція	2
8.	Термодинаміка і кінетика процесів формування нової фази	Практичне заняття	2
9.	Визначення типу хімічного зв'язку кристалів за розподілом електронної густини і зонної структури матеріалу	Лабораторне заняття	2
9.	Тема 8. Вуглецеві наноструктурні матеріали.	Лекція	2
9.	Неорганічні наноматеріали. Вуглецеві наноструктурні матеріали	Практичне заняття	2
10.	Тема 9. Наноконпозиційні матеріали.	Лекція	2
11.	Наноконпозиційні матеріали	Практичне заняття	2
11.	Визначення типу хімічного зв'язку кристалів за розподілом електронної густини і зонної структури матеріалу	Лабораторне заняття	2
11.	Тема 9. Наноконпозиційні матеріали.	Лекція	2
	Наноконпозиційні матеріали	Практичне заняття	2
12	Тема 10. Фрактальні структури.	Лекція	2
	Фрактальні структури	Практичне заняття	2
	Поверхнева енергія та адгезія	Лабораторне заняття	2
13	Тема 10. Фрактальні структури.	Лекція	2
	Фрактальні структури	Практичне заняття	2
14	Тема 11. Методи одержання наноструктурованих матеріалів.	Лекція	2
	Методи одержання наноматеріалів	Практичне заняття	2
	Адсорбція, десорбція і випаровування з поверхні	Лабораторне заняття	2
15	Іспит	тестування	2

### 8. Самостійна робота

№ тижня	Назва теми	Види СР	Кіл-ть годин	Контрольні заходи
1 – 3	Вступ. Атомно-молекулярна структура наночастинок і наносистем	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних

				заняттях.
3 – 4	Процеси на поверхні та у приповерхневих шарах.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
4 – 5	Термодинаміка поверхневих шарів і міжфазних меж.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
5 – 6	Термодинаміка нерівноважних процесів.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	8	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
7 – 8	Адсорбційні явища на поверхні твердих тіл.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	16	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
8 – 9	Термодинаміка і кінетика процесів формування нової фази.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	16	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
9 – 10	Неорганічні наноматеріали.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	8	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
10 – 11	Вуглецеві наноструктурні матеріали.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	18	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
11 – 12	НанокOMPIЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	8	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
12 – 13	Фрактальні структури.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
13 – 14	Методи одержання наноструктурованих матеріалів.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
<p><b>Консультативна допомога студенту надається у таких формах:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій (не менш ніж 2 години на тиждень або за попередньою домовленістю);</li> <li>• використання системи дистанційного навчання Moodle:  <a href="https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1668">https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1668</a>;</li> </ul>				ніж 2 го-

- листування за допомогою електронної пошти [andko@zp.edu.ua](mailto:andko@zp.edu.ua);
- відеозустріч в системі Zoom Meeting, аудіоспілкування або повідомлення у сервісах Viber та Telegram (за графіком консультацій викладача);
- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача).

## 9. Система та критерії оцінювання курсу

### Система оцінювання курсу.

Оцінка знань студентів здійснюється за кредитно-модульною системою. Навчальний семестр складається з двох змістовних модулів.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовний модуль оцінюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка визначається як середня двох контролів за перший та другий змістовні модулі. Студент має право додатково скласти залік за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня вцілому двох змістовних модулів та заліку.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна вцілому оцінюється за 100-бальною шкалою.

Оцінка за 100-бальною шкалою переводиться відповідно у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та шкалу європейської кредитно-трансфертної системи (ЄКТС –A, B, C, D, E, FX, F).

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85-89	<b>B</b>	добре	
75-84	<b>C</b>		
70-74	<b>D</b>	задовільно	
60-69	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### Критерії оцінювання курсу.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовний модуль оцінюється за 100-бальною шкалою.

## 10. Політика курсу

### Політика щодо академічної доброчесності:

- ❖ Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб.
- ❖ Надавати для оцінювання лише результати власної роботи.
- ❖ Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погірши-

ти/покращити результати інших студентів.

❖ Не публікувати відповіді на питання, що використовуються в рамках курсу для оцінювання знань студентів

**Політика щодо відвідування аудиторних занять (особиста присутність студента):**

Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні сформуванати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/enrol/index.php?id=1668>) з подальшим захистом. За об'єктивних причин (наприклад, лікарняні, стажування, мобільність, індивідуальний графік, інше) аудиторні види занять та завдань також можуть бути трансформовані в систему дистанційного навчання (сервіс moodle).

**Політика щодо дедлайнів.**

Студент зобов'язаний дотримуватись крайніх термінів (дата для аудиторних видів робіт або час в системі дистанційного навчання), до яких має бути виконано певне завдання. За наявності поважних причин (відповідно до інформації, яку надано деканатом) студент має право на складання індивідуального графіку вивчення окремих тем дисципліни.

**Політика щодо оскарження результатів контрольних заходів:**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються.

**Політика щодо дотримання прав та обов'язків студентів.**

Права і обов'язки студентів відображено у п.7.5 Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка» ([https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Polozhennia\\_pro\\_organizatsiyu\\_osvitnoho\\_protseesu.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Polozhennia_pro_organizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf)).

**Політика щодо конфіденційності та захисту персональних даних.**

Обмін персональними даними між викладачем і студентом в межах вивчення дисципліни, їх використання відбувається на основі закону України «Про захист персональних даних» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>). Стаття 10, п. 3.