

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

**Кафедра**

мікро- та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма:

Якість, стандартизація та сертифікація  
(назва освітньої програми)

Спеціальність:

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(найменування спеціальності)

Галузь знань:

15 Автоматизація та приладобудування  
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти:

бакалавр  
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри  
мікро-та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

Протокол №1 від 17.08.2021 р.

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	<b>Технологія виробництва напівпровідникових матеріалів</b> Навчальна дисципліна вибіркової компоненти
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший (бакалаврський) рівень
<b>Викладач</b>	Сніжної Г.В., доцент, к. фіз.-мат. н., д. техн. н., завідувач кафедри мікро- і наноелектроніки
<b>Контактна інформація викладача</b>	Робочий телефон: +380617698367, телефон викладача 0504860966, e-mail: snow@zr.edu.ua
<b>Час і місце проведення навчальної дисципліни</b>	Згідно до розкладу занять
<b>Обсяг дисципліни</b>	<b>Кількість годин</b> – загальний обсяг 90 годин <b>кредитів</b> – 3 кредити ЕКТС <b>розподіл годин:</b> 14 годин лекційних, 14 годин лабораторних, 2 години – індивідуальне науково-дослідне завдання, 60 годин самостійна робота, <b>вид контролю</b> – залік.
<b>Консультації</b>	Згідно з графіком консультацій
<b>2.Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни</b>	
<p><b>Пререквізити</b> <b>Дисципліни:</b> ОК 02 – «Вища математика», ОК 03 – «Фізика», ОК 05 – «Українська мова за професійним спрямуванням», ОК 09 – «Фізична хімія».</p> <p><b>Постреквізити</b> <b>Дисципліни:</b> ВК – «Наноматеріали та процеси їх формування», «Фізика твердого тіла».</p>	
<b>3.Характеристика навчальної дисципліни</b>	
<p>Технологія виробництва напівпровідникових матеріалів (ТВНпМ) – це курс теоретично-практичного спрямування, що поєднує в собі системні знання про технології отримання матеріалів мікро- і наноелектроніки.</p> <p>Вивчення навчальної дисциплін «Технологія виробництва напівпровідникових матеріалів» дозволить студентам приймати обґрунтовані рішення на основі знання принципів отримання матеріалів мікро- та наноелектроніки.</p> <p><b>Загальні компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- К01. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях;</li> <li>- К02. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;</li> <li>- К05. Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел;</li> <li>- К06. Навички здійснення безпечної діяльності,</li> <li>- К08. Здатність вчитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузі, відмінній від професійної.</li> </ul> <p><b>Фахові компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- К15. Здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки;</li> <li>- К21. 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ПР04. Вміти вибирати, виходячи з технічної задачі, стандартизований метод оцінювання та вимірювального контролю характерних властивостей продукції та параметрів технологічних процесів;</li> </ul>	

– ПР08. Вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування.

#### 4. Мета вивчення навчальної дисципліни

формування у студентів системних знань про виготовлення напівпровідникових матеріалів і фізичні закономірності цих процесів, які дозволяють працювати по напрямку виготовлення напівпровідникових матеріалів та виробів електронної техніки; навчити студентів правильно вибирати матеріал для виготовлення елементів електроніки заданого призначення з врахуванням допустимих навантажень, впливу зовнішніх факторів, технологічності, вартості; розвинення навичок користування спеціальною науковою і довідковою літературою, а також діючими стандартами.

#### 5. Завдання вивчення дисципліни

**Пізнавальні** – є освоєння характеристик основних процесів технології отримання матеріалів; методів очищення матеріалів (хімічні, фізико-хімічні, адсорбційні, екстракція, дистиляція, ректифікація) та кристалізаційних методів одержання матеріалів (Чохральського, Степанова, Кіропулоса, Вернейля, Бріджмена-Стокбаргера); фізичної сутності процесів, які мають при отриманні провідників, напівпровідників, діелектричних і магнітних матеріалів.

**Практичні** – правильно вибирати метод та обладнання для виготовлення матеріали мікро- і наноелектроніки заданого призначення з врахуванням допустимих навантажень, впливу зовнішніх факторів, технологічності, вартості, тощо; аналізувати можливості покращення властивостей існуючих матеріалів; застосовувати отриманні знання для виготовлення напівпровідникових матеріалів.

#### 6. Зміст навчальної дисципліни

##### *Модуль 1.*

##### *Змістовий модуль 1. Характеристика процесів технології виробництва матеріалів*

##### **Вступ**

Мета і задачі вивчення дисципліни, її взаємозв'язок з іншими дисциплінами. Короткі історичні відомості про технологічні процеси отримання матеріалів.

**Тема 1 Загальна характеристика основних процесів технології матеріалів. Властивості екології виробництва.**

Уявлення про технологічний процес. Класифікація процесів технології напівпровідникових матеріалів. Кінетика технологічних процесів. Система моделей в технології матеріалів. Уявлення про обчислювальний технологічний експеримент. Моделювання й оптимальне керування технологічними процесами.

Взаємозв'язок технологічних умов отримання напівпровідникових матеріалів з техніко-економічними показниками виробництва. Загальні відомості про методи технологічного контролю якості напівпровідникових матеріалів.

**Тема 2 Загальна характеристика процесів очищення та отримання матеріалів.**

Процеси кристалізації. Утворення зародка (центру) кристалізації. Механізм і кінетика росту кристалів. Термодинамічний аналіз процесу. Утворення структурних дефектів у процесі кристалізації й охолодження кристалів.

Основні характеристики методів одержання матеріалів електроніки (із розплаву, у паровій фазі, реакціями розкладання, окислення-відновлення, гідротермальним синтезом, транспортними хімічними реакціями). Основні вимоги до чистоти матеріалів. Методи очищення матеріалів: хімічні, фізико-хімічні, адсорбційні, екстракція, дистиляція, ректифікація. Методи одержання хлорсілану.

**Тема 3 Кристалізаційні методи очищення й одержання матеріалів.**

Коефіцієнт розподілу. Метод Чохральського. Розподіл домішок. Основні вимоги до технології вирощування за методом Чохральського. Устаткування. Одержання кристалів напівпровідників і діелектриків. Методи вирощування профільних кристалів. Основні принципи формоутворення. Формоутворення меніска. Метод Степанова. Метод Кіропулоса.

Метод Вернейля. Апаратура і технологія. Ріст ниткоподібних кристалів із пару. Метод Бріджмена-Стокбаргера. Космічні технології отримання матеріалів.

**Тема 4 Зонна плавка.**

Метод зонної плавки. Розподіл домішок при зонній плавці. Використання левітації, електронно-променевої плавлення. Устаткування і промислова технологія. Матеріали, одержувані методом зонної плавки.

**Тема 5 Ріст кристалів із розчинів.**

Вирощування кристалів із рідких розчинів. Загальні положення. Вирощування з водних розчинів. Ме-

тоди температурного перепаду і хімічних реакцій. Гідротермальні методи. Процеси вирощування кристалів і епітаксійних прошарків.

Вирощування кристалів із розчинів у розплавах солей. Вирощування кристалів із газової фази. Вирощування кристалів з застосуванням газотранспортних реакцій. Вирощування методом сублімація-конденсація. Вирощування хімічним осадженням із газової фази.

Вирощування за механізмом пара-рідина-кристал. Автоматичний контроль і регулювання товщини, структури і складу епітаксійних прошарків. Технологія одержання сполук  $A^3B^5$ ,  $A^2B^6$ ,  $A^4B^6$ .

## **Модуль 2.**

### **Змістовий модуль 2. Технологія одержання моно-, полі-, некристалічних та керамічних матеріалів.**

#### **Тема 6 Технологія одержання найважливіших монокристалічних матеріалів.**

Технологія одержання найважливіших монокристалічних матеріалів. Кремній. Карбід кремнію. Окиси міді, цинку. Германій. Арсенід галію.

Одержання монокристалів із заданою структурою й однорідним розподілом домішок. Технологія одержання епітаксильних прошарків кремнію. Технологія одержання селену, телуру, бору, алмазів. Технологічні схеми комплексного використання сировини, що зменшують забруднення навколишнього середовища.

#### **Тема 7 Технологія некристалічних матеріалів.**

Технологія некристалічних матеріалів, халькогенідних стекел. Аморфізація. Недоліки скла. Формування скла. Термічна обробка скла. Особливості одержання стекел в умовах мікрогравітації. Скло для ультразвукових ліній затримки.

#### **Тема 8 Технологія керамічних матеріалів.**

Технологія найважливіших керамічних матеріалів. Настановна кераміка. Конденсаторна кераміка. П'єзокерамічні матеріали.

Технологія одержання волоконно-оптичних елементів. Аморфні матеріали. Методи одержання аморфного кремнію й інших матеріалів.

Органічні матеріали і технології їх одержання.

#### **Тема 9 Методи одержання плівок.**

Методи одержання плівок. Розпилення. Розпилення. Утворення зародків і епітаксія. Штучна епітаксія. Надгратки. Основні характеристики одержуваних плівок.

#### **Тема 10 Технологія одержання гетероструктур.**

Технологія одержання МДН, МДНДМ та їм подібних структур.

Гетероструктури, методи одержання. Метод термічного окислювання, інші методи одержання діелектричних плівок. Загальні характеристики структур.

Розгляд питань на залік. Підготовка до проходження тестів.

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

<b>№ тижня</b>	<b>Назва теми</b>	<b>Форми організації навчання</b>	<b>Кількість годин</b>
1	Загальна характеристика основних процесів технології матеріалів. Властивості екології. Загальна характеристика процесів очищення та отримання матеріалів.	лекція	2
2	Кристалізаційні методи очищення й одержання матеріалів.	лабораторна робота	2
3	Кристалізаційні методи очищення й одержання матеріалів. Зонна плавка.	лекція	2
4	Легування кристалів при вирощуванні методом Чохральського	лабораторна робота	2
5	Зонна плавка. Ріст кристалів із розчинів.	лекція	2
6	Визначення концентрації легуючих і залишкових домішок і розрахунок їх розподілу по довжині кристала	лабораторна робота	2
7	Технологія одержання найважливіших монокристалічних матеріалів.	лекція	2
8	Легування кристалів при вирощуванні методом Чохра-	лабораторна робота	2

	льського. Випадок леткої домішки		
9	Матеріали для фото-, рентгено- і електронолітографії. Матеріали для легування напівпровідників і виготовлення електродних виводів	лекція	2
10	Визначення концентрації легуючих і залишкових домішок і розрахунок їх розподілу по довжині кристала	лабораторна робота	2
11	Технологія керамічних матеріалів. Методи одержання плівок.	лекція	2
12	Метод подвійного капілярного тигля	лабораторна робота	2
13	Методи одержання плівок. Технологія одержання гетероструктур.	лекція	2
14	Зонна плавка.	лабораторна робота	2

### 8.Самостійна робота

№ тижня	Назва теми	Види СР	Кіл-ть годин	Контрольні заходи
1	2	3	4	5
1, 2	Загальна характеристика основних процесів технології матеріалів. Властивості екології.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт.	6	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
3, 4	Загальна характеристика процесів очищення та отримання матеріалів.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт.	6	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
5, 6	Кристалізаційні методи очищення й одержання матеріалів.	Опрацювання літератури, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
7, 8	Зонна плавка. Ріст кристалів із розчинів.	Опрацювання конспекту лекцій, підготовка до лабораторних робіт.	12	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
9, 10	Технологія одержання найважливіших монокристалічних матеріалів.	Опрацювання літератури, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, реферат.
11, 12	Технологія некристалічних матеріалів. Технологія керамічних матеріалів.	Опрацювання літератури, індивідуальна робота.	12	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
13,14	Технологія некристалічних матеріалів. Технологія керамічних матеріалів.	Опрацювання літератури, конспекту лекцій, підготовка до лабораторних робіт.	12	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.

**Консультативна допомога** студенту надається у таких формах:

- особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій (не менш ніж 2 години на тиждень або за попередньою домовленістю);
- використання системи дистанційного навчання Moodle:  
<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1551>;
- листування за допомогою електронної пошти [snow@zp.edu.ua](mailto:snow@zp.edu.ua) (у форматі 24/7);
- відеозустріч в системі Zoom Meeting, аудіо спілкування або смс у сервісах Viber та Telegram (за графіком консультацій викладача або за домовленістю);
- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача або за домовленістю у Viber та Telegram).

## 9. Система та критерії оцінювання курсу

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

Для студентів денної форми навчання кожен змістовий модуль оцінюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка визначається як середня двох контролів за перший та другий змістові модулі. Студент має право додатково скласти залік за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому трьох змістових модулів та заліку.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна в цілому оцінюється за 100-бальною шкалою. Оцінка за 100-бальною шкалою переводиться відповідно у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та шкалу європейської кредитно-трансферної системи (ECTS –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 проекту (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

Оцінка «відмінно» виставляється студентові за повне та відмінне виконання завдання без або з незначною помилкою. Оцінка «добре» - за правильне виконання завдання але з деякими помилками. Оцінка «задовільно» – за виконання завдання в достатньому обсязі зі значною кількістю недоліків або в мінімальному обсязі. Оцінка «незадовільно» виставляється студентові, який не виконав завдання або його обсяг недостатній та містить грубі помилки.

Оцінки «зараховано» заслуговує студент, який виявив повне (певне) знання навчального матеріалу, успішно (частково) виконав передбачені програмою завдання, засвоїв рекомендовану основну літературу. Оцінка «зараховано» виставляється студентам, які засвідчили системні (не системні) знання понять та принципів навчальної дисципліни і здатні до їх самостійного поповнення та оновлення (використання) під час подальшої навчальної роботи і професійної діяльності. Одночасно вони допустили певні неточності, пропуски, помилки, які зумовили некоректність окремих результатів та висновків.

Оцінка «незараховано» виставляється студентові, який виявив значні прогалини в знаннях основного навчального матеріалу, допустив грубі помилки у виконанні передбачених програмою завдань, незнайомий з основною літературою, а також студентам, у яких відсутні знання базових положень навчальної дисципліни або їх недостатньо для продовження навчання чи початку професійної діяльності.

### Критерії оцінювання курсу.

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

Під час контролю по першому змістовному модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- повнота відповіді та активність роботи студента при захисті лабораторних робіт оцінюється до 45 балів;

- індивідуальна робота (ІДЗ) – до 20 балів;
- рубіжний контроль (МК) – до 35 балів:

Під час контролю по другому змістовному модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- повнота відповіді та активність роботи студента при захисті лабораторних робіт оцінюється до 45 балів;
- індивідуальна робота (ІДЗ) – до 20 балів;
- рубіжний контроль (МК) – до 35 балів:

Підсумковий контроль визначається як середня двох контролів за змістовні модулі.

Поточне тестування та самостійна робота										Підсумкова
Змістовий модуль №1					Змістовий модуль № 2					
ПЗ	ЛР	ІДЗ	МК	Σ	ПЗ	ЛР	ІДЗ	МК	Σ	100
-	45	20	35	100	-	45	20	35	100	

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна оцінюється за 100- бальною шкалою. Під час підсумкового контролю (заліку) враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при захисті лабораторних робіт студента оцінюється (до 45 балів всього);
- правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при модульному контролі студента оцінюється (до 35 балів всього);
- правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при захисті індивідуальної роботи студента оцінюється до 20 балів.

## 10. Політика курсу

### **Політика щодо академічної доброчесності.**

Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб. Надати для оцінювання лише результати власної роботи.

Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погіршити/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 сформувані загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (сервіс Moodle) 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.

### **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 в Положенні про організацію освітнього процесу в

Національному університеті «Запорізька політехніка»

<https://zp.edu.ua/normativna-baza-navchalnogo-procesu>

**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