

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра мікро- та наноелектроніки
(найменування кафедри)

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОСНОВИ НАНОЛІТОГРІФІЇ

(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої
(назва освітньої програми)

Спеціальність: 153 Мікро- та наносистемна техніка
(найменування спеціальності)

Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: магістр
(назва ступеня вищої освіти)

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

Протокол № 1 від 17 серпня 2021 р.

м.Запоріжжя 2021

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	<u>ВК</u> Основи нанолітографії Вибіркова навчальна дисципліна.
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський) рівень
Викладач	Коротун Андрій Віталійович, доцент кафедри мікро- та наноелектроніки, канд. фіз.-матем. наук
Контактна інформація викладача	Робочий телефон: +380617698367, e-mail: andko@zp.edu.ua
Час і місце проведення навчальної дисципліни	За розкладом занять.
Обсяг дисципліни	Кількість годин – загальний обсяг 90 годин. Кредитів – 3 кредити ЄКТС. Розподіл годин: 14 годин лекцій; 14 годин практичних занять; 62 годин самостійної роботи. Вид контролю – залік.
Консультації	Згідно з графіком консультацій, який складається кафедрою на початку семестру. https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki
2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни	
Пререквізити: ➤ Фізика; ➤ Наноматеріали та процеси їх формування. Постреквізити: ➤ Переддипломна практика (стажування); ➤ Дипломування.	
3. Характеристика навчальної дисципліни	
У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати: загальні компетентності: ➤ ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ➤ ЗК2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. ➤ ЗК4. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні. ➤ ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. ➤ ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). ➤ ЗК8. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності). фахові компетентності: ➤ СК1. Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення. ➤ СК2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення і аналіз отриманих результатів. ➤ СК5. Здатність аргументувати вибір методів розв’язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення.	

- СК6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності.
 - СК7. Здатність розробляти і реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти у сфері мікро- та наносистемної техніки, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти.
- Очікувані програмні результати навчання:**
- Р1. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.
 - Р2. Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.
 - Р3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення.
 - Р6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючи вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.
 - Р8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її.
 - Р9. Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки.

4. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є навчання студентів основам нанолітографії – нової області нанотехнологій, прищеплення їм практичних навичок у застосуванні отриманих теоретичних знань до вирішення конкретних задач створення інтегральних наноелектронних квантових схем; вивчення загальних принципів структурування за допомогою літографії.

5. Завдання вивчення дисципліни

Завданнями вивчення дисципліни є вивчення основних понять і основ нанолітографії, як основного інструмента виготовлення зразків для дослідження квантових когерентних ефектів, поверхневих явищ, пов'язаних зі збільшенням співвідношення поверхня / об'єм, ефектів в низьковимірних системах, таких як квантові точки, нанодроти, а також надбання навичок розв'язання задач.

6. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Перспективи нанолітографічних технологій. Термолітографія та оптична нанолітографія за дифракційною межею.

Вступ.

Мета та задачі курсу. Термінологія.

Тема 1. Можливості та перспективи розвитку технологій формування нанорозмірних матеріалів і наноструктур.

Перспективи вдосконалення елементної бази інформатики та оптоелектроніки на базі наноматеріалів.

Види нанолітографічних технологій.

Методи формування темплатів.

Фізико-хімічні властивості наночастинок та наноструктурованих поверхневих шарів.

Методи отримання поверхневих наноструктур.

Тема 2. Термолітографічний запис нанорозмірних структур.

Реєстрація нанорозмірних структур на нелінійних фоторезистах.

Аналіз можливостей термолітографічного запису.

Фоточутливі матеріали для термолітографічного запису нанорозмірних структур.

Неорганічні фоторезистори на основі халькогенідних склоподібних напівпровідників для реєстрації нанорозмірних структур.

Технології створення перспективних нелінійних фоторезистів.

Аналіз вимог до оптичних систем термолітографічного запису.

Тема 3. Методи оптичної нанолітографії, які дозволяють долати дифракційну межу.

Технологія імерсійного запису нанорозмірних структур.

Можливості і досягнення інтерференційної літографії.

Поверхнева плазмон на інтерференційна нанолітографія.

Технології підвищення роздільної здатності оптичної проєкційної літографії.

Змістовий модуль 2. Зондова та ближньопольова оптична нанолітографія. Перспективи розвитку нанолітографії.

Тема 4. Методи формування нанорозмірних структур зондовими скануючими мікроскопами.

Механічна модифікація поверхні атомно-силовим мікроскопом.

Польове випаровування.

Нанолітографія методом локального анодного окислення.

Dip-rep літографія (пір'яна нанолітографія).

Тема 5. Ближньопольова оптична нанолітографія.

Зонди ближньопольових мікроскопів.

Лазерне наноструктурування скануючим ближньопольовим оптичним мікроскопом.

Ближньопольова нанолітографія на самоорганізованих молекулярних моношарах.

Ближньопольова нанолітографія на основі високоефективних зондів.

Тема 6. Методи формування наноструктур за принципом «знизу-вгору».

Можливості і перспективи наноімпринтної літографії.

Саморегулюючі процеси створення наноструктурних об'єктів.

Лазерна наносферна літографія.

Двофотонна нанолітографія.

Тема 7. Досягнення оптичної нанолітографії та перспективи подальшого розвитку.

Перспективи нанолітографії в УФ-діапазоні.

Перспективи електронно-променевої літографії.

Прилади електроніки та оптоелектроніки, створені з використанням наноматеріалів.

7. План вивчення навчальної дисципліни

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ. Тема 1. Можливості та перспективи розвитку технологій формування нанорозмірних матеріалів і наноструктур.	Лекція	2
2	Можливості та перспективи розвитку технологій формування нанорозмірних матеріалів і наноструктур.	Практичне заняття	2

3	Тема 2. Термолітографічний запис нанорозмірних структур.	Лекція	2
4	Термолітографічний запис нанорозмірних структур.	Практичне заняття	2
5	Тема 3. Методи оптичної нанолітографії, які дозволяють долати дифракційну межу.	Лекція	2
6	Методи оптичної нанолітографії, які дозволяють долати дифракційну межу.	Практичне заняття	2
7	Тема 4. Методи формування нанорозмірних структур зондовимискануючими мікроскопами.	Лекція	2
8	Методи формування нанорозмірних структур зондовимискануючими мікроскопами.	Практичне заняття	2
9	Тема 5. Ближньопольова оптична нанолітографія.	Лекція	2
10	Ближньопольова оптична нанолітографія.	Практичне заняття	2
11	Тема 6. Методи формування наноструктур за принципом «знизу-вгору».	Лекція	2
12	Методи формування наноструктур за принципом «знизу-вгору».	Практичне заняття	2
13	Тема 7. Досягнення оптичної нанолітографії та перспективи подальшого розвитку.	Лекція	2
14	Досягнення оптичної нанолітографії та перспективи подальшого розвитку.	Практичне заняття	2

Індивідуальні завдання

Студенти денної форми навчання готують два індивідуальних домашніх завдання у вигляді розв'язаних задач. Максимальна оцінка індивідуального завдання складає 15 балів.

8. Самостійна робота

№ тижня	Назва тем	Види СР	Кількість годин	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1				
1, 2	Вступ. Тема 1. Можливості та перспективи розвитку технологій формування нанорозмірних матеріалів і наноструктур.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	12	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
3	Тема 2. Термолітографічний запис нанорозмірних структур.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	5	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
4, 5	Тема 3. Методи оптичної нанолітографії, які дозволяють долати дифракційну межу.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань	10	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.

		практичних занять.		
6	Тема 4. Методи формування нанорозмірних структур зондовимискануючими мікроскопами.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	5	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
Змістовий модуль 2				
7, 8, 9	Тема 5. Близькопольова оптична нанолітографія.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	10	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
9, 10, 11	Тема 6. Методи формування наноструктур за принципом «знизу-вгору».	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	10	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
12, 13, 14	Тема 7. Досягнення оптичної нанолітографії та перспективи подальшого розвитку.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	10	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.

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=4241>;
- листування за допомогою електронної пошти andko@zp.edu.ua (у форматі 24/7 кожного дня);
- відеозустріч в системі ZoomMeeting, аудіоспілкування або повідомлення у сервісах Viber та WhatsApp (за графіком консультацій викладача);
- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача).

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 змістові модулі. Студент має право додатково скласти іспит за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому двох змістових модулів та іспиту.

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 при виді контролю: іспит

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄCTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
70-74	D	
60-69	E	Задовільно
35-59	FX	
1-34	F	Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Оцінка «відмінно» виставляється студентів за повне та відмінне виконання завдання без помилок, або з незначними помилками. Оцінка «добре» - за правильне виконання завдання, але з деякими помилками. Оцінка «задовільно» виставляється за виконання завдання в достатньому обсязі зі значною кількістю недоліків або в мінімальному обсязі. Оцінка «незадовільно» виставляється студентів, який не виконав завдання, або обсяг виконання завдання недостатній та містить грубі помилки, а також у випадку, коли у студента відсутні знання базових положень навчальної дисципліни або їх недостатньо для продовження навчання чи початку професійної діяльності.

Критерії оцінювання курсу

Оцінювання навчальних успіхів студентів реалізується шляхом проведення поточного та підсумкового контролю успішності.

1. Курсом передбачені практичні заняття. Враховуючи активність студента на практичних заняттях та результати аудиторних контрольних робіт студент може отримати в кожному модулі максимально 25 балів.

2. За індивідуальне завдання, яке включає в себе розв'язок та захист набору задач за варіантами, студент може отримати в кожному модулі максимально 15 балів, за умови демонстрації високого рівня знань, а також творчої, розумової, нерепродуктивної діяльності під час застосування теоретичних знань на практиці.

3. По закінченню першого і другого напівсеместру проводиться рубіжні контролю у вигляді аудиторної модульної контрольної роботи. Максимальна рейтингова оцінка цих видів контролю – 60 балів.

4. За підсумками першого та другого рубіжного модульного контролю студенту формується підсумкова оцінка знань, яка оголошується до початку екзаменаційної сесії. Під час екзаменаційної сесії студенти, які незгодні з оцінкою за підсумками рубіжного контролю або отримали незадовільну оцінку, з'являються на екзамен.

Критерії оцінювання

Поточне тестування та самостійна робота									Підсумкова
Модуль №1				Модуль № 2					
ПЗ	ІДЗ	МК	Σ	ПЗ	ІДЗ	РГЗ	МК	Σ	100
25	15	60	100	15	10	15	60	100	

ПЗ – практичні заняття; ІДЗ – індивідуальне домашнє завдання; РГЗ – розрахунково-графічне завдання; МК – модульна контрольна робота.

Отже, сумарна кількість балів, яку отримує студент впродовж семестру, складає 100. В залежності від отриманої суми балів до залікової відомості та в залікову книжку виставляється оцінка згідно національної шкали.

Оцінювання курсового проекту відбувається за результатами його захисту. Результати захисту курсового проекту оцінюються за національною шкалою та шкалою ECTS:

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до <u>20</u>	до <u>20</u>	до <u>60</u>	<u>100</u>

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 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 сформувати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=4241>) 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 графіка 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).

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.