

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра _____ мікро- та нанoeлектроніки _____
(найменування кафедри)

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

НАНОФОТОНІКА

(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: _____ Мікро- та нанoeлектронні 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 нанoeлектроніки _____
(найменування кафедри)

Протокол № 1 від 17 серпня 2021 р.

Запоріжжя, 2021

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	ОК 06 Нанофотоніка Навчальна дисципліна нормативного компонента циклу загальної підготовки
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 195 годин. Кредитів – 6,5 кредитів ЄКТС. Розподіл годин: 42 годин лекцій; 28 годин практичних занять; 110 годин самостійної роботи. Вид контролю – іспит.
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. Дисципліни за освітнім ступенем бакалавра: Квантова електроніка; Схемотехніка аналогових і цифрових пристроїв обробки сигналів; Комп'ютерне моделювання; Твердотіла електроніка. Постреквізити. Дисципліна: Наноплазмоніка і метаматеріали Стажування (переддипломна практика), Магістерська робота.	
3. Характеристика навчальної дисципліни	
У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати: загальні компетентності: 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 контроль-но-вимірвальне, 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;
- СК3. Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та нанoeлектронні системи різного призначення;
- СК4. Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і нанoeлектронних приладах та системах;
- 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:

- P1. 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;
- P2. Визначати напрями, розробляти і реалізовувати проекти модернізації виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів;
- P3. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення;
- P6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування;
- P7. Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки;
- P8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її;
- P9. Забезпечувати якість виробництва; обирати технології, що гарантують отримання необхідних характеристик твердотільних пристроїв; застосовувати сучасні методи контролю мікро- та наносистемної техніки;
- P11. Досліджувати процеси у мікро- та нанoeлектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів;
- P12. Будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та нанoeлектроніки;
- P16. Досліджувати дефекти ультратонких покриттів і дисперсних середовищ (зокрема, фарб-ксераліків) методами оптичної дефектоскопії та вміти візуалізувати вказані дефекти;
- P18. Досліджувати і розробляти компоненти електронних систем, зокрема, альтернативної енергетики;
- P19. Вміти проектувати наноструктуровані покриття оптичних дисків для надщільного запису інформації;
- P21. Вміти проектувати прилади оптоелектроніки, компоненти фотовольтаїчних, фотокалітичних і біофотонних систем.

4. Мета вивчення навчальної дисципліни	
Метою вивчення дисципліни є засвоєння студентами фізичних основ і методів фотоніки та оптики наноструктур на рівні, достатньому для подальшого самостійного удосконалення в одному з напрямків даної наукової дисципліни.	
5. Завдання вивчення дисципліни	
Завданнями вивчення дисципліни є: вивчення основних понять і явищ нанофотоніки, а також сучасних уявлень про основні фізико-математичні моделі, що лежать в основі процесів взаємодії оптичного випромінювання з наноб'єктами, сучасні і перспективні області їх застосування.	
6. Зміст навчальної дисципліни	
Змістовий модуль 1 Фізичні основи нанофотоніки. Вступ Предмет дисципліни та її задачі. Стандартна термінологія, основні поняття і визначення. Історія фотоніки. Розвиток матеріалів і технологій. Тема 1. Твердотільні структури нанофотоніки Класифікація низькорозмірних об'єктів. Квантові ефекти у напівпровідниках. Оптичні властивості наноматеріалів. Екситони. Вплив форми наночастинок на енергетичну підсистему носіїв заряду. Вплив навколишнього середовища на енергетичний спектр екситонів у наночастинок. Оптичні властивості металевих і напівпровідникових нанокластерів. Фотонні нанокристали. Оптичні властивості квантових ям і надґраток. Нерівноважні носії заряду у квантових ямах і над-ґратках з коваріантною модуляцією. Оптичні властивості квантових точок. Використання квантово-розмірних ефектів для розробок лазерів. Тема 2. Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів Оптика багатошарових діелектричних середовищ. Еталон Фабрі – Перо. ґратка Брегга. Одновимірні фотонні кристали. Матрична оптика періодичних середовищ. Фур'є-оптика періодичних середовищ. Двовимірні й тривимірні фотонні кристали. Тема 3. Оптичні хвилеводи Класифікація оптичних хвилеводів. Планарні дзеркальні хвилеводи. Планарні діелектричні хвилеводи. Двовимірні хвилеводи. Фотонно-кристалічні хвилеводи. Оптичний зв'язок у хвилеводах. Плазмонні хвилеводи. Змістовий модуль 2 Застосування нанофотоніки Тема 4. Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої Нанoeлектронні лазери з горизонтальними і вертикальними резонаторами. Оптичні	

модулятори.

Фотоприймачі на квантових ямах. Фотоприймачі на основі квантових точок. Фотоприймачі на структурах з множинними квантовими ямами і надгратками. Інфрачервоні приймачі на структурах з квантовими ямами і квантовими точками.

P-I-N-фотодіоди з шарами германієвих квантових точок для близької інфрачервоної області. Фотодіод з перебудовою спектру на $p^{+}-p-p^{+}$ структури.

Тема 5. Випромінюючі пристрої на основі органічних наноматеріалів

Органічні світлодіоди. Технології одержання органічних світлодіодів. Одержання кольорового зображення в OLED-дисплеях.

Використання MEMS-ключів замість транзисторів у AMOLED. Стан розробок пристроїв та систем на основі органічних світлодіодів.

Активні середовища на квантових точках. Світлодіоди на квантових точках. Повнокольорові дисплеї на квантових точках

Джерела світла на основі ефекту автоемісії вуглецевих волокон.

Тема 6. Фотонні технології

Поняття про світлочутливі матриці. Характеристики матриць. Типи матриць за використовуваною технологією.

Методи одержання кольорового зображення у фотоматрицях.

Лазерний мікропроектор із спіральною розгорткою для мобільних пристроїв.

Використання фотонних технологій при розробці квантових комп'ютерів та у квантовій криптографії.

Тема 7. Субхвильова оптична мікроскопія

Фізичні принципи оптичної мікроскопії. Просторова роздільна здатність і дифракційна границя Аббе.

Локалізовані поверхневі плазмони. Плазмонна мікроскопія високого розрізнення. Поляризація сильно-сфокусованого лазерного світла.

Конфокальний флуоресцентний мікроскоп. Перспективні напрямки субхвильової оптичної мікроскопії.

Тема 8. Методи оптичного запису інформації з використанням нанотехнологій

Запис на гранульованих середовищах. Використання методів лазерної термолітографії в системах надщільного запису.

Запис з використанням методів наноплазмоніки. Оптичний запис з використанням методів багатофотонної мікроскопії.

Запис з використанням методів поляризаційного кодування.

7. План вивчення навчальної дисципліни

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ. Тема 1. Твердотільні структури нанофотоніки.	Лекція	2
1	Математичний апарат нанооптики і нанофотоніки.	Практичне заняття	2
2	Тема 1. Твердотільні структури нанофотоніки.	Лекція	2
2	Тема 1. Твердотільні структури нанофотоніки.	Лекція	2

2	Твердотільні структури нанофотоніки.	Практичне заняття	2
3	Тема 2. Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Лекція	2
3	Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Практичне заняття	2
4	Тема 2. Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Лекція	2
4	Тема 2. Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Лекція	2
4	Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Практичне заняття	2
5	Тема 2. Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Лекція	2
5	Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Практичне заняття	2
6	Тема 3. Оптичні хвилеводи.	Лекція	2
6	Тема 3. Оптичні хвилеводи.	Лекція	2
6	Оптичні хвилеводи.	Практичне заняття	2
7	Тема 3. Оптичні хвилеводи.	Лекція	2
7	Оптичні хвилеводи. Модульний контроль I.	Практичне заняття	2
8	Тема 4. Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Лекція	2
8	Тема 4. Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Лекція	2
8	Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Практичне заняття	2
9	Тема 4. Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Лекція	2
9	Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Практичне заняття	2
10	Тема 5. Випромінюючі пристрої на основі органічних наноматеріалів.	Лекція	2
10	Тема 5. Випромінюючі пристрої на основі органічних наноматеріалів.	Лекція	2
10	Випромінюючі пристрої на основі органічних наноматеріалів.	Практичне заняття	2
11	Тема 6. Фотонні технології.	Лекція	2
11	Субхвильова оптична мікроскопія.	Практичне заняття	2
12	Тема 7. Субхвильова оптична мікроскопія.	Лекція	2
12	Тема 7. Субхвильова оптична мікроскопія.	Лекція	2
12	Субхвильова оптична мікроскопія.	Практичне заняття	2
13	Тема 7. Субхвильова оптична мікроскопія.	Лекція	2
13	Субхвильова оптична мікроскопія.	Практичне заняття	2
14	Тема 7. Субхвильова оптична мікроскопія. Тема 8. Методи оптичного запису інформації з використанням нанотехнологій.	Лекція	2
14	Тема 8. Методи оптичного запису інформації з використанням нанотехнологій.	Лекція	2

14	Методи оптичного запису інформації з використанням нанотехнологій.	Практичне заняття	2
15	Підсумкове заняття. Підготовка до іспиту.	Лекція	2
15	Модульний контроль II.	Практичне заняття	2

Індивідуальні завдання

Розрахунково-графічне завдання (РГЗ) – це самостійне дослідження студента. Виконуючи РГЗ студент удосконалює знання і вміння, отримані в процесі вивчення дисципліни „Нанофотоніка“, а саме: визначати мету, виділяти задачі, формулювати проблеми і знаходити шляхи їх вирішення. Працюючи над РГЗ студент отримує вміння та навички, які будуть корисні в майбутньому – при виконання більш складних задач (курсовий проєкт, дипломна робота, дисертація, наукове дослідження).

Написання розрахунково-графічної роботи є одним із видів індивідуальної роботи з дисципліни „Нанофотоніка“.

Метою написання РГЗ являється:

- систематизація, закріплення та розширення теоретичних знань і практичних вмінь студентів;
- набуття досвіду роботи з літературою та іншими джерелами інформації, вміння узагальнювати та аналізувати наукову інформацію, формувати власне ставлення до проблеми;
- набуття вміння застосовувати інформаційні та комп’ютерні технології для вирішення прикладних задач;
- розвиток навичок оволодіння спеціалізованим програмним забезпеченням;
- проведення глибокого аналізу результатів досліджень та формування змістовних висновків щодо якості отриманих результатів.

Крім розрахунково-графічного завдання студенти денної форми навчання готують два індивідуальних домашніх завдання у вигляді розв’язаних задач. Максимальна оцінка індивідуального завдання складає 15 балів.

Для студентів заочної форми навчання передбачена *контрольна робота*.

8. Самостійна робота

№ тижня	Назва тем	Види СР	Кількість годин	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1				
1, 2	Вступ. Твердотільні структури нанофотоніки.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	16	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
3, 4	Оптика періодичних середовищ і фотонних кристалів.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	22	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
5, 6	Оптичні хвилеводи.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань	18	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.

		практичних занять.		
7	Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	6	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
Змістовий модуль 2				
8	Нанoeлектронні лазери та фотоприйомні нанoeлектронні пристрої.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	6	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
9, 10	Випромінюючі пристрої на основі органічних наноматеріалів.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	12	Перевірка виконаної роботи викладачем.
10	Фотонні технології.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	2	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
11, 12, 13	Субхвильова оптична мікроскопія.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	20	Усне опитування на лекціях, перевірка виконаних завдань практичних робіт.
14, 15	Методи оптичного запису інформації з використанням нанотехнологій.	Проробка літературних джерел, вивчення лекційного матеріалу, доопрацювання завдань практичних занять.	14	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=4101>;
- листування за допомогою електронної пошти andko@zp.edu.ua (у форматі 24/7 кожного дня);
- відеозустріч в системі Zoom Meeting, 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- трансфертної системи (ЄКТС – A, B, C, D, E, FX, F).

Шкала оцінювання при виді контролю: іспит

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	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 контролі 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.

Для студентів заочної форми навчання захист контрольної роботи, розв'язування задач, усний або письмовий іспит.

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.

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=4101>) 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.