

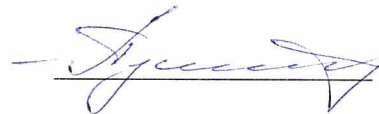
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки

Затверджено

на засіданні кафедри сенсорної та
напівпровідникової електроніки
факультету електроніки та
комп'ютерних технологій
Львівського національного університету
імені Івана Франка

(протокол № 1/24 від 29.08.2024 р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

Силабус з навчальної дисципліни

“ФУНКЦІОНАЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА”,

що викладається в межах освітньо-професійної програми
“Електроніка та комп'ютерні системи”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності
171 Електроніка

Львів 2024

Назва дисципліни	Функціональна електроніка
Адреса викладання дисципліни	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова, 50
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	17 Електроніка та телекомунікації, 171 Електроніка.
Викладачі дисципліни	Галій Павло Васильович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
Контактна інформація викладачів	pavlo.galiy@lnu.edu.ua Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. Драгоманова, 50, лаб. 312, 115, 118 https://electronics.lnu.edu.ua/employee/halij-p-v/
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	В режимі оф-лайн: згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних занять (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. Драгоманова, 50, лаб. 115, 118 В режимі он-лайн: консультації проводяться на платформі Microsoft Teams та Zoom. Для погодження часу он-лайн консультацій необхідно писати на електронну пошту викладача
Сторінка дисципліни	Функціональна електроніка: https://electronics.lnu.edu.ua/course/funktsionalna-elektronika/
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Функціональна електроніка» є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 8 семестрі в обсязі 3,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Функціональна електроніка» присвячена вивченню фундаментальних електронних явищ та процесів, у напівпровідниках та інших конденсованих матеріалах, що лежать в основі напівпровідникової електроніки та роботи напівпровідникових приладів. Розглядаються процеси генерації, рекомбінації і переносу носіїв заряду у

	напівпровідниках та найпростіших напівпровідникових мікро- та наноструктурах, що лежать в основі роботи пристроїв нано-, мікро та функціональної електроніки різноманітного призначення.
Мета та цілі дисципліни	<p>Метою дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок з дослідження і використання матеріалів та пристроїв і приладів функціональної мікро-та наноелектроніки.</p> <p>Цілі дисципліни: ознайомити студентів з основними явищами та ефектами, що використовуються у матеріалах функціональної електроніки – ефектами тунелювання та резонансного тунелювання у багатобар’єрних структурах, ефектом Гана та Дембера, пристроями опто- та акустoeлектроніки, матеріалами та високоефективними структурами фотоелектронних перетворювачів (ФЕП).</p> <p>Навчити студентів аналізувати фізичні процеси, що відбуваються у напівпровідниках та найпростіших напівпровідникових структурах під дією освітлення, температури, легування, електричних та магнітних полів і їх вплив на явища переносу носіїв з метою їх застосування в якості сенсорів температурних, магнітних та електричних полів і електромагнітного опромінення. Сприяти розвитку компетенцій і знань при розробці ефективних приладів та систем функціональної електроніки.</p>
Література для вивчення дисципліни	<p>Рекомендована література</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Находкін М. Г., Сизов Ф. Ф. Елементи функціональної електроніки.– Київ: Укрінт., 2002.–324 с. 2. Бабич О. Й. Функціональна мікроелектроніка. навч. посібник / О. Й. Бабич, П. В. Галій, П. П. Парандій. – Львів : Ліга-Прес, 2014. – 176 с. 3. Напівпровідникова фотоелектроніка. / В. П. Савчин, І. І. Іжнін, М. М. Ваків // – Львів, 2010. – 728 с. 4. Н.А. Курган, Л.І. Карбовска, В.Л. Карбовский. Функціональні сенсорні наноструктури. Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. 2019, т. 17, № 1,с.с. 167–206. 5. Галій П.В. Основи напівпровідникової наноелектроніки: наносистеми та нанотехнології. навч. посібник / П.В. Галій Т.М. Ненчук, Д.П. Слободзян, О.Я. Тузяк : Книга 1 / – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2024. – 256 с.). е-посіб: 6. Наноструктурованные материалы и функциональные устройства : монография / Ю. И. Якименко [та ін.] ; ред. Ю. И. Якименко. — Киев—София : Аверс, 2011. — Кн. 2 : Нанoeлектроника. — 388 с.

	<p>7. Новосядлий С. П. Високоєфективні структури ФЕП (фотоелектронних перетворювачів): монографія/ С. П Новосядлий, — Ів.-Франківськ,: Вид. Прикарпат. нац. унів. ім. В. Стефаніка, 2015. — 370 с.</p> <p>8. Б.К. Остафійчук, І.М.Будзуляк, І.І. Григорчак, І.Ф. Миронюк. Наноматеріали в пристроях генерування і накопичення електричної енергії. — Ів.-Франк.:ВДВ ЦІТ, 2007 — 206 с.</p> <p>9. Фізичне матеріалознавство: навчальний посібник / Ю.М. Поплавко, С.О. Воронов . – Київ – 2015. Інтернет-видавництво Національного Технічного університету України КПІ: Навчально-методичні публікації: Poplavko_Voronov_Phys_material_(2015).pdf</p> <p>Допоміжна:</p> <p>10. Твердотільна електроніка: Лабораторний практикум: Навч. посібник / Ю.М. Височанський, А.А. Говарт, Грабар та ін.. – Ужгород: ІВА, 2001. – 388 с</p> <p>11. Електричні вимірювання. Д.І. Блецкан, А.А. Говарт, В.М.Кабацій – Ужгород: ВАТ. Видавництво "Закарпаття", 2008. – 400 с.</p> <p>12. Находкін М.Г., ШекаД.І. Фізичні основи мікро-та наноелектроніки. К.: Київський ун-т, 2005 .-431 с.</p> <p>Методичне забезпечення: Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу "Функціональна електроніка" містить описи та практичні завдання 10-ти лабораторних робіт (наявні е-файли), назви робіт будуть наведені нижче. Див. СХЕМА КУРСУ</p>
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг 105 год. Аудиторних занять – 64 год.: 32 год. – лекційних занять, 32 год. – лабораторних занять. Самостійна робота – 41 год.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: принцип роботи та ефективного функціонування основних розглянутих пристроїв функціональної електроніки (опто-, мікро та наноелектроніки); напівпровідникові матеріали та наноструктури і їх властивості та технологічні процеси для їх одержання.</p> <p>вміти: використовувати знання фізичних принципів роботи та практично застосувати набуті знання реалізувати та практично застосувати їх з метою вмілого та прагматичного використання для розробки нових пристроїв та приладів функціональної мікро- та наноелектроніки.</p>

Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК12. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

ФК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.

ФК5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мережами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки.

ФК6. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.

ФК9. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв для проектування мікропроцесорних та електронних систем.

ФК11. Здатність контролювати і діагностувати стан обладнання, застосовувати сучасні електронні компоненти та технічні засоби, виконувати профілактику, ремонт та технічне обслуговування електронних пристроїв та систем, монтувати, налагоджувати та ремонтувати аналогові, цифрові та оптичні модулі, розробляти та виготовляти друковані плати, розробляти програмне забезпечення для мікроконтролерів.

ФК12. Здатність інтегрувати знання з фізичних засад електроніки, програмування, моделювання, схемотехніки, автоматизації та тестування компонент і пристроїв сучасної електроніки для розуміння основ функціонування електронних та комп'ютерних систем різного призначення.

	<p>ПР1. Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ПР6. Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.</p> <p>ПР12. Використовувати документацію, пов'язану з професійною діяльністю, із застосуванням сучасних технологій та засобів офісного устаткування; використовувати англійську мову, включаючи спеціальну термінологію, для спілкування з фахівцями, проведення літературного пошуку та читання текстів з технічної та фахової тематики.</p> <p>ПР13. Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення; відповідати вимогам гнучкості в подоланні перешкод та досягненні мети, раціонального використання та нормування часу, дисциплінованості, відповідальності за свої рішення та діяльність.</p> <p>ПР14. Дотримуватися норм сучасної української ділової та професійної мови.</p> <p>ПР17. Демонструвати навички проведення експериментальних досліджень, пов'язаних з професійною діяльністю; вдосконалювати методики вимірювання; контролювати достовірність отриманих результатів; систематизувати та аналізувати дані, отримані експериментальним шляхом.</p> <p>ПР19. Застосовувати навички проектування, програмування та тестування компонент та пристроїв сучасної електроніки для розробки та налагодження електронних та комп'ютерних систем різного призначення.</p>
Ключові слова	Електронні пристрої: функціональної, опто-, мікро- та наноелектроніки. Електронні ефекти і явища використовуювані у напівпровідникових приладах різноманітного призначення – інтегральних та гібридних нано-, мікросхемах, сенсорах, перетворювачах енергії.
Формат курсу	Очний.
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці семестру.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких

	дисциплін як “Матеріали та компоненти сучасної електроніки”, “Напівпровідникова електроніка”, “Твердотільна електроніка”, “Оптоелектроніка”
Навчальні методи та техніки, які будуть використуватися при викладанні курсу	Лекції, презентації, лабораторні роботи, виконання індивідуальних завдань, обговорення, дискусія. Доступ до мережі Інтернету необхідний для роботи в комунікаційних системах Microsoft Teams та Zoom для консультацій та здійснення модульного контролю, завантаження виконаних модельних розрахункових робіт, лабораторних завдань у Moodle.
Необхідне обладнання	Онлайн-доступ до Microsoft Teams, Zoom та Moodle. Цифрові та аналогові осцилографи, макетні плати для монтажу лабораторних робіт, електронні мультиметри для вимірювання електричних величин з вбудованими цифровими інтерфейсами для роботи з мікрочіпами .
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою.</p> <p>Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 30% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 30); • контрольні заміри (два Модулі по 10%): – 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 20); • іспит: 50% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 50). <p>Загалом упродовж семестру 100 балів</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних (дослідницько-експериментальних/розрахункових) робіт та формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману, неякісного чи хибного результату.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов’язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт – лабораторних, модулів, індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самотійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти</p>

заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих, написання та зачитування рефератів та темі курсу.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, модулів), самостійній роботі та бали підсумкового іспиту. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та несвоєчасне виконання запланованих завдань т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (10 лабораторних робіт) відбувається шляхом оцінки підготовки студента до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту одержаних результатів й зроблених висновків (захист звіту за виконану роботу).

Кожна з робіт оцінюється від 0 до 3 балів ($10 \times 3 = 30$ балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

3,0 – студент в повному обсязі володіє теоретичним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, самостійно реалізує 100 % від поставлених завдань для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі роботи та описі отриманих результатів;

2,0 – студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, однак існують сумніви, щодо можливості самостійного виконання роботи; присутні неточності та помилки у відповідях на запитання по отриманих результатах студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, 50-75 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

1,0 – студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може реалізувати та пояснити 25-30 % від поставлених в роботі завдань;

0 – студент зовсім не підготувався до виконання лабораторної роботи, при допомозі викладача не в змозі виконати жодне завдання лабораторної роботи.

Контрольні заміри знань з викладеного у лекціях матеріалу проводяться у формі тестових модулів (2 модулі по 10 балів кожен).

	<p>Кожен з 2-х модулів охоплює (містить) до 30 контрольних запитань з пройденого лекційного матеріалу (курс містить у загальному до 60-70 тестових питань з прослуханого курсу.</p> <p>Кожна правильна відповідь приносить (1-2) бали, хибна відповідь – 0 балів. У кожному варіанті 5 запитань. Максимальна к-сть балів за всі 5 правильні відповіді $2 \times 5 = 10$</p> <p>Іспит складається з відповідей на 5 запитань, кожне з яких з різних розділів лекційного курсу: відповіді на кожне запитання оцінюються у 10 балів: $5 \times 10 = 50$ балів).</p> <p>Критерії оцінювання набутих на лекціях знань з предмету:</p> <table border="1" data-bbox="544 801 1481 1559"> <thead> <tr> <th data-bbox="544 801 759 931">Бали за відповідь на 1 запитання</th> <th data-bbox="759 801 1481 931">Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="544 931 759 1106">9–10</td> <td data-bbox="759 931 1481 1106">Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, та засвідчено глибоке володіння матеріалом.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="544 1106 759 1281">6–8</td> <td data-bbox="759 1106 1481 1281">Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="544 1281 759 1411">3–5</td> <td data-bbox="759 1281 1481 1411">Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="544 1411 759 1498">1–2</td> <td data-bbox="759 1411 1481 1498">Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="544 1498 759 1559">0</td> <td data-bbox="759 1498 1481 1559">Відповідь відсутня.</td> </tr> </tbody> </table>	Бали за відповідь на 1 запитання	Критерії оцінювання	9–10	Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, та засвідчено глибоке володіння матеріалом.	6–8	Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.	3–5	Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.	1–2	Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно.	0	Відповідь відсутня.
Бали за відповідь на 1 запитання	Критерії оцінювання												
9–10	Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, та засвідчено глибоке володіння матеріалом.												
6–8	Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.												
3–5	Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.												
1–2	Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно.												
0	Відповідь відсутня.												
<p>Питання до іспиту</p>	<p>Запитання (60 шт.) до іспиту знаходяться у файлі з назвою Контрольні Запитання з Лекційного Матер_2024_ФЕ.docx</p>												
<p>Опитування</p>	<p>Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.</p>												

СХЕМА КУРСУ

Тиж	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання

1	<p>Тема 1. Вступ в предмет функціональна електроніка. Процеси і явища в конденсованому середовищі, які використані для різних функцій перетворення інформаційних сигналів. Принципи роботи пристроїв функціональної мікро- та наноелектроніки. Найбільше приділена увага розгляду принципів роботи та аналізу систем функціональної оптоелектроніки. Генерації, передавання, перетворення, детектування та реєстрації інформаційних сигналів.</p>	Лекція (2 год)	1-6	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки. Ознайомлення з лабораторним практикумом з предмету та його експериментальним і методичним забезпеченням. Вимогами до виконаних лабораторних робіт та звітування і оцінювання. (2 год)	1 тиждень семестру
2	<p>Тема 2. Основні напрямки і матеріали функціональної електроніки та місце оптоелектроніки. Оптоелектроніка – як науково-техн. напрям функц. мікро-наноелектроніки, що вивчає принципи управління оптичними та електронними процесами в різних середовищах з метою передавання, прийому, обробки, зберігання і відображення інформації. Оптоелектрон. прилади – це пристрої, перетворення електричних сигналів в оптичні і навпаки.</p>	Лекція (2 год)	1-8	1. GaAs та Si матеріали функціональної електроніки: дослідження їх частотних залежностей відносно діелектричної проникності та діелектричних втрат (2 год)	2 тиждень семестру
3	<p>Тема 3. Випромінювальні процеси в твердих тілах та джерела випромінювання. Передпробійна електролюмінесценція. Інжекційна люмінесценція в напівпровідниках та правила відбору при випромінювальних переходах. Випромінювання в гетероструктурах. Застосування інжекційних напівпровідникових світлодіодів на основі гетеропереходів.</p>	Лекція (2 год)	1-8	2. Напівпровідниковий фоторезистор та його функціональні характеристики чутливості та температурної стабільності(2 год)	3 тиждень семестру
4	<p>Тема 4. Джерела випромінювання у когерентній оптоелектроніці. Суперлюмінесцентні випромінювачі, квантові підсилювачі. Інжекційні лазери. Лазери з розподіленими бреггівськими відбивачами (РБВ) і лазерам з розподіленим зворотним зв'язком (РЗЗ).</p>	Лекція (2 год)	1-10	3. Дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) та визначення основних параметрів фотодіодів. (2 год)	4 тиждень семестру

5	<p>Тема 5. Твердотільні мікролазери. Лазери на активованих оптичних волокнах. Робота та переваги твердотільних мікролазерів. Застосування інжекційних напівпровідникових лазерів на основі гетеропереходів (GaAlAs/GaAl, InGaAs/InP). Н-пр мікролазери з вузькою діаграмою спрямування та з більшою інтенсивністю випромінювання – VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) – лазер поверхневого випромінювання з вертикальним об'ємним резонатором.</p>	Лекція (2 год)	1-11	4. Світлодіоди на основі гетероструктур GaAs/GaAlAs та інших і основи їх роботи і характеристики. Світлодіодні матеріали. (2 год).	5 тиждень семестру
6	<p>Тема 6. Методи прийому оптичного випромінювання. Принципи ресстрації та первинної обробки інформації, що міститься в оптичному сигналі. Метод прямого фотодетектування та метод підрахунку фотонів. Когерентний прийом випромінювання. Класифікація приймачів оптичного випромінювання. Шуми при фотодетектуванні. Поріг чутливості і квантова межа детектування.</p>	Лекція (2 год)	1-12	Захист виконаних лабораторних робіт (1 – 4) першого циклу та обговорення результатів і проблемних питань. (2 год)	6 тиждень семестру
7	<p>Тема 7. Принципи фотоелектронного перетворення електромагнітних сигналів методами функціональної оптики. Фоторезистори, Фотогальванічний ефект: фотодетектування в структурі з <i>p-n</i>-переходом. Фототранзистори та оптопара (оптрон).</p>	Лекція (2 год)	1-12	5. Дослідження відносної діелектричної проникності та діелектричних втрат при різних температурах і частотах у структурах SiO ₂ /Si/SiO ₂ , та Si ₃ N ₄ /Si, що використовуються у польових транзисторах. (2 год).	7 тиждень семестру
8	<p>Тема 8. Основні типи твердотільних фотодетекторів. Гетерофото- та <i>p-i-n</i>-фотодіоди. Структура з бар'єром Шоткі. Лавинний фотодіод. Твердотільні детектори зображень. Ресстрація оптичного випромінювання з використанням багатоямних композиційних квантово-плівкових наноструктур та надграток</p>	Лекція (2 год)	1-12	6. Оптопара (оптрон) її будова та принцип роботи. Дослідження основних характеристик оптопари. (2 год).	8 тиждень семестру

9	Тема 9. Принципи фотоелектричного перетворення електромагнітного випромінювання в ЕРС. Внутрішній фотоефект та дрейф носіїв заряду. Ефект Дембера, як приклад виникнення ЕРС у напівпровідниках. Н-пр матеріали, що використовують для сонячних панелей. Ефективність кристалічних, полікристалічних та аморфних н-пр та її залежність від ширини E_g матеріалу. Переваги сонячних панелей на гетеропереходах та на бар'єрах Шоткі в порівнянні з на $p-n$ гомопереходах. Тонкоплівкові полікрис./аморфні панелі	Лекція (2 год)	1-12	7. Експериментальні дослідження фотоелектричних перетворювачів світлових потоків малої потужності та порогів їх спектральної чутливості. (2 год).	9 тиждень семестру
10	Тема 10. Принципи інтегральної оптики. Введення та виведення оптичного випромінювання у та з ОВ. Торцеве збудження. Збудження кризь поверхню: призмий і дифракційний елементи зв'язку. Зв'язок між хвилеводами. Перетворення світлових променів в інтегральній оптиці.	Лекція (2 год)	1-12	8. Керування емністю $p-n$ переходів та її зміни напругою зміщення і дослідження ВФХ методом резонансу з використанням Q-метра. (2 год).	10 тиждень семестру
11	Тема 11. Інтегральна оптика новітній напрям функціональної мікроелектроніки що створює надпродуктивні систем передачі та обробки оптичної інформації. Оптоелектронні інтегральні мікросхем (ІМС). Створення на оптопарах оптоелектронних ІМС різного призначення: оптоелектронні ІМС гальванічної розв'язки, оптоелектронні перемикачі, оптоелектронні ключі, комутатори аналогових сигналів, транзисторні ключі та ін.	Лекція (2 год)	1-12	Захист виконаних лабораторних робіт (5 – 8) другого циклу та обговорення результатів і проблемних питань (2 год).	11 тиждень семестру
12	Тема 12. Тунелювання носіїв та ефект Гана і його застосування у пристроях функціональної електроніки. Ефект Гана та Функціональні пристрої, засновані на ефекті Ганна. Використання вироджених напівпровідників у деяких пристроях (Діоди Гана). Генерація електромагнітних коливань НВЧ високої та низької потужності. Сучасна технологія виготовлення приладів-пластин Ганна, Потуж-	Лекція (2 год)	1-12	Захист виконаних лабораторних робіт (5 – 8) другого циклу та обговорення результатів і проблемних питань (2 год).	12 тиждень семестру

	ність генерації в неперервному режимі діодів Ганна				
13	<p>Тема 13. Квантове обмеження та резонансне тунелювання у наноструктурах з потенціальними бар'єрами.</p> <p>Струми резонансного тунелювання у наноструктурах з бар'єрами та квантовими ямами за низьких і "високих" напруг та їх ВАХ. Реалізація нанодіодів на двобар'єрних гетероструктурах з резонансним тунелювання та N-подібною ВАХ-характеристикою.</p>	Лекція (2 год)	1-12	9. Розрахунок нанодіода на AlGaAs/GaAs/AlGaAs двобар'єрній гетероструктурі з резонансним тунелювання і його N -подібної ВАХ-характеристики (2 год).	13 тиждень семестру
14	<p>Тема 14. Пристрої на наногетероструктурах, що використовують резонансне тунелювання та їх застосування у функціях наноелектроніки</p> <p>Прилади наноелектроніки на резонансно-тунельному ефекті у бар'єрних наноструктурах з квантовими ямами. Біполярні та польові транзистори з резонансним тунелювання, транзистори на гарячих електронах. Одноелектронні транзистори. Кулонівська блокада тунелюван. Переваги пристроїв наноелектроніки – діодів, транзист., логічних елементів, з ефектом резонансного тунелювання.</p>	Лекція (2 год)	1-12	10. Квантові ями на гетероструктурах та їх використання у нанолазерах та модуляторах світлових потоків (розрахункова робота) (2 год).	14 тиждень семестру
15	<p>Тема 15. Оптонаноелектронні пристрої функціональної електроніки на квантових точках.</p> <p>Технології одержання напівпровідникових квантових точок. Електронно-енергетична структура квантових точок і їх використання у функціональній електроніці – пристроях генерації (нанолазери) і реєстрації світлових потоків</p>	Лекція (2 год)	1-12	11. Електронно-енергетична структура квантових точок (InSb/GaAs і їх використання у функціональній електроніці – пристроях генерації і реєстрації світлових потоків (розрахункова робота) (2 год).	15 тиждень семестру

	(фотодетектори на наноструктурах з квантовими точками).				
16	<p>Тема 16. Функціональна електроніка комунікаційних систем. Транспортування світлових сигналів. Світловоди та основи їх роботи. Поширення світла в оптичному волокні (ОВ). Типи та властивості ОВ: багато-і одномодові ОВ; ступінчаті та градієнтні; оптичні втрати та дисперсійні властивості ОВ. Комунікаційні системи вільнопросторової оптики (Free Space Optics (FSO)) та матриці передавачів – світловипромінюючих діодів VCSEL.</p>	Лекція (2 год)	1-12	Захист виконаних лабораторних робіт (9 – 11) третього циклу та обговорення результатів. Підведення підсумків Контрольні запитання. (2 год)	16 тиждень семестру