

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

“НАПІВПРОВІДНИКОВА 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	Напівпровідникова 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	Напівпровідникова електроніка: https://electronics.lnu.edu.ua/course/napivprovidnykova-elektronika-2/ https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=2505
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Напівпровідникова електроніка» є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 5 семестрі в обсязі 3,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Напівпровідникова електроніка» присвячена вивченню фундаментальних електронних процесів у напівпровідниках, що лежать в основі напівпровідникової електроніки та роботи напівпровідникових приладів. Розглядаються процеси генерації, рекомбінації і переносу носіїв

	<p>заряду у напівпровідниках та найпростіших напівпровідникових структурах. Вивчення впливу температури, легування, електричних та магнітних полів на явища переносу носіїв у напівпровідниках з метою їх застосування в якості сенсорів температурних полів та їх градієнтів, магнітних та електричних полів, сенсорів газів та їх тиску. У курсі вивчаються особливості електронно-енергетичної структури та густини електронних станів, кінетики перенесення заряду у власних та домішкових не вироджених і вироджених напівпровідниках і їх застосування.</p>
<p>Мета та цілі дисципліни</p>	<p>Метою дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок з дослідження і використання напівпровідників у приладах сучасної напівпровідникової електроніки.</p> <p>Цілі дисципліни: ознайомити студентів з основними явищами та ефектами у напівпровідниках та їх використанням у напівпровідниковій електроніці, навчити студентів аналізувати фізичні процеси, що відбуваються у напівпровідниках та найпростіших напівпровідникових структурах під дією температури, легування, електричних та магнітних полів і їх вплив на явища переносу носіїв у напівпровідниках з метою їх застосування в якості сенсорів температурних, магнітних та електричних полів і опромінення. Сприяти розвитку компетенцій при розробці ефективних напівпровідникових приладів та систем.</p>
<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Рекомендована література</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Напівпровідникова фотоелектроніка. / В. П. Савчин, І. І. Іжнін, М. М. Ваків // – Львів, 2010. – С. 728. 2. Третяк О.В. Фізика низьковимірних систем: навч. посібник / О. В. Третяк, В. З. Лозовський. — Київ : Київський університет, 2013. — 372 с. 3. Електронне перенесення в напівпровідниках та напівпровідникових структурах / В. П. Савчин, Р. Я. Шувар. – Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2008. – 728 с. 4. Бабич О. Й. Функціональна мікроелектроніка. навч. посібник / О. Й. Бабич, П. В. Галій, П. П. Парандій. – Львів : Ліга-Прес, 2014. – 176 с. 5. 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 6. А.О. Дружинін Твердотільна електроніка: фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: Навча-

	<p>льний посібник. – Львів: Видавництво Нац. університету “Львівська політехніка”, 2001. – 252 с.</p> <p>7. Твердотільна електроніка: Лабораторний практикум: Навч. посібник / Ю.М. Височанський, А.А. Говарт, Грабар та ін.. – Ужгород: ІВА, 2001. – 388 с</p> <p>8. Електричні вимірювання. Д.І. Блецкан, А.А. Говарт, В.М.Кабацій – Ужгород: ВАТ. Видавництво "Закарпаття", 2008. – 400 с.</p> <p>Допоміжна:</p> <p>9. Фізика напівпровідників : підруч. для студентів ВНЗ / Ю. В. Попик ; Ужгород : ІВА, 2014. – 820 с.</p> <p>10. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Свойства материалов (справочник). Киев: Наукова думка. 1975. – 703 с.</p> <p>11. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2-х томах. – Київ.:Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1 – 338 с. Т. 2. – 389 с. В Інтернеті е-версія (pdf формат: Третяк, Лозовський 1, Третяк, Лозовський 2).</p> <p>Методичне забезпечення: Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу Напівпровідникова електроніка містить описи та практичні завдання 11-ти лабораторних робіт (електронні версії)</p>
Обсяг курсу	<p>Загальний обсяг 105 год.</p> <p>Аудиторних занять – 64 год.:</p> <p>32 год. – лекційних занять, 32 год. – лабораторних занять.</p> <p>Самостійна робота – 41 год.</p>
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: що таке власний та домішковий (легований донорними та акцепторними домішками) напівпровідник; знати їх зонно-енергетичну схему та які максимальні концентрації неконтрольованих домішок та дефектів допустимі у власному напівпровіднику? Якими властивостями він володіє з точки зору температурних залежностей концентрації вільних носіїв заряду та питомої електропровідності і який його ТКО? Чи залежить ширина зони заборонених енергій та концентрація носіїв заряду у власному напівпровіднику від температури, якого типу вільні носії у ньому – n чи p? механізми протікання струму у напівпровідниках. Електропровідність напівпровідників: власну та домішкову. Рухливість носіїв заряду. Температурна залежність рухливості. Як концентрація вільних носіїв заряду у зоні провідності та валентній зоні залежить від ширини зони заборонених енергій напівпровідників, наявності донорних чи акцепторних</p>

домішок, і їх допустимі концентрації для досягнення не виродження та виродження. Що є основною, причиною легування напівпровідників? Що таке донорні та акцепторні домішки і чи змінюють вони тип і величину провідності? Як рухливість носіїв заряду залежить/не залежить від ефективної маси носіїв у зонах. Які основні механізми розсіяння у ковалентних домішкових н/пр обмежують рухливість носіїв заряду? Рівні легування донорними/акцепторними домішками при яких леговані напівпровідники залишаються не виродженими чи набувають температурно-концентраційного виродження та їх застосування у приладах н/пр електроніки.

вміти: з метою вмілого та прагматичного використання для розробки нових пристроїв та приладів напівпровідникової мікро- та наноелектроніки вміти визначати параметри напівпровідників (концентрації вільних носіїв заряду і тип провідності) та напівпровідникових структур (контактні різниці потенціалів, основні та неосновні носії заряду, ємності плоских (планарних) *p-n* переходів). Вимірювання питомого опору. Вимірювання ЕРС Холла. Визначення рухливості носіїв заряду методами струму Холла та геометричного магнітоопору. Визначення теплових та термоелектричних характеристик. Вимірювання параметрів нерівноважних носіїв заряду. Механізми виникнення ефектів Холла, Гауса, Гана, Дембера, тунелювання та ін. Вміти реалізувати та практично застосувати ці ефекти.

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.

ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.

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.

ФК3. Здатність інтегрувати знання фундаментальних розділів фізики та хімії для розуміння процесів

	<p>твердотільної, функціональної та енергетичної електроніки, електротехніки.</p> <p>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.</p> <p>ФК9. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв для проектування мікропроцесорних та електронних систем.</p> <p>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.</p> <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>ПР4. Оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, розуміти основи твердотільної електроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, перетворювальної та мікропроцесорної техніки.</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>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>
Ключові слова	Носії заряду, рухливість, концентрація, енергетична діаграма, заборонена зона, легування, р-п-перехід, контакт метал-напівпровідник.
Формат курсу	Очний.
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ

Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці семестру.
Пререквізити	<p>Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких дисциплін як “Вища математика”, “Фізичні основи електроніки”, “Матеріали та компоненти сучасної електроніки”.</p> <p>В подальшому, знання отримані студентами з курсу “Напівпровідникова електроніка” будуть використовуватись при вивченні наступних дисциплін: “Твердотільна електроніка”, “Функціональна електроніка”, “Прилади і пристрої квантової електроніки”.</p>
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися при викладанні курсу	Лекції, презентації, лабораторні роботи, виконання індивідуальних завдань, обговорення, дискусія. Доступ до мережі Інтернету необхідний для робота в комунікаційних системах Microsoft Teams та Zoom для консультацій та здійснення модульного контролю, завантаження виконаних контрольних 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 продовж 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 балів): – 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 робіт та формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману</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</p>

термінів визначених для виконання всіх видів робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.

Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, модулів), самостійній роботі та бали за іспит. 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 мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставлених завдань т. ін.

Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (11 лабораторних робіт) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Кожна з робіт оцінюється від 0 до 5 балів.

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

5 – студент в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, повністю самостійно реалізує поставлені завдання для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання;

4 – студент достатньо розуміє розглянутий матеріал, повністю самостійно реалізує поставлені завдання для виконання роботи, присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по темі, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання (або з несуттєвими недоліками);

3 – студент не досить добре розуміє розглянутий матеріал та вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, частково самостійно реалізує поставлені завдання для виконання роботи, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання з помірними недоліками;

2 – студент погано розуміє розглянутий матеріал, частково самостійно реалізує поставлені завдання для виконання

роботи, та в більшості надає помилкові відповіді на питання по темі, демонструє використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання з суттєвими недоліками;

1 - студент погано розуміє розглянутий матеріал та використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання не функціонують належним чином, не в змозі самостійно реалізувати завдання для виконання роботи, лише при допомозі викладача;

0 - студент зовсім не засвоїв розглянутий матеріал, використані підходи, методи, прототипи, моделі відповідно до завдання не функціонують належним чином /не функціонують взагалі, не в змозі при допомозі викладача реалізувати завдання для виконання роботи

У підсумку, всі набрані бали множаться на коефіцієнт для переведення у 30-ти бальну шкалу

Контрольні заміри знань з предмету викладені у лекціях проводяться у формі тестових завдань (модулів) (2 модулі по 10 балів кожен).

Кожен модуль містить 50 тестових питань з одним вірним варіантом відповіді.

Кожна правильна відповідь приносить 0,2 бала, хибна відповідь – 0 балів

Іспит оцінюється за 50 бальною системою згідно наступних критеріїв:

Бали	Критерії оцінювання
40–50	Відповіді, в яких навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, які містять аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.
25–39	Відповіді, в яких відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
14–24	Відповіді, в яких основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
1–13	Відповіді, які засвідчують, що навчальний матеріал не засвоєно Відсутність чіткого і логічного формулювання.

	0	Не виконав.
Питання до іспиту	Запитання (60 шт.) до іспиту знаходяться у файлі з назвою Контрольні Запитання з Лекційного Матер_2023_24_RV.docx	
Опитування	Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.	

СХЕМА КУРСУ

Тиждень	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1	Тема 1. Вступ в предмет напівпровідникова електроніка. Важливість напівпровідників у напівпровідниковій електроніці дискретних електронних приладів, мікроелектроніці інтегральних схем та мікронаноелектроніці. Напівпровідники та деякі особливості їх фізичних властивостей у порівнянні з металами та діелектриками. Класифікація речовин за величиною електропровідності та концентрацією власних вільних носіїв заряду.	Лекція (2 год)	1-8	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	Тема 2. Носії заряду у напівпровідниках. Власні та домішкові напівпровідники. Температурна залежність концентрацій вільних носіїв заряду. Механізми електропровідності: види носіїв заряду у напівпровідниках (електрони та дірки). Закон діючих мас для легованих напівпровідників.	Лекція (2 год)	1-8	1. Порівняльні дослідження температурних залежностей опору напівпровідників та металів. (2 год)	2 тиждень семестру
3	Тема 3. Власна концентрація носіїв заряду у нелегованих напівпровідниках (номінально чистих). Леговані напівпровідники та домішкова провідність. Порівняння концентрацій носіїв заряду у власних та легованих напівпровідниках та їх температурна залежність. Концентраційно-температурне виродження напівпровідників. Рівняння електронейтральності.	Лекція (2 год)	1-8	2. Дослідження властивостей напівпровідникових терморезисторів і визначення їх основних параметрів. (2 год)	3 тиждень семестру
4	Тема 4. Рухливість носіїв заряду та їх ефективна маса. Розсіяння носіїв заряду у	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	3. Вивчення роботи варисторів – дослідження їх	4 тиждень семестру

	<p>власних та легованих напівпровідників. Механізми розсіяння. Типи центрів розсіяння: фонони; дефекти кристалічних ґраток (вакансії, міжвузлові атоми, дислокації); атоми та іони домішок. Температурна залежність процесів розсіяння та прояв різних механізмів розсіяння. Рівняння Больцмана та час релаксації. Класичний ефект Холла та Гауса у напівпровідниках у магнітному полі.</p>			<p>ВАХ та аналіз основних параметрів. (2 год)</p>	
5	<p>Тема 5. Типи напівпровідників у періодичній системі хімічних елементів. . Моноелементні напівпровідники четвертої, п'ятої та шостої групи (B, C, Si, Ge, Se, Sn(α-Sn); P, As, Sb). Складні: двоелементні A3B5 та A2B6 – з третьої та п'ятої та другої і шостої груп та їх тверді розчини і їх використання у напівпровідниковій електроніці. Ковалентний та іонноковалентний зв'язок у напівпровідниках, що виконуються у напівпровідниковій електроніці.</p>	<p>Лекція (2 год)</p>	1-8 та 9-11	<p>4. Класичний ефект Холла. Польові залежності ЕРС Холла і її знаку. Рухливість носіїв заряду. (2 год).</p>	5 тиждень семестру
6	<p>Тема 6. Зонно–енергетична структура напівпровідників. Елементи зонної теорії. Електронний газ у періодичному потенціалі кристалічної ґратки та функція Блоха. Фазовий простір імпульсів та квазіімпульс електронів. Хвильове число. Густина станів у зонах та її енергетична залежність в умовах термодинамічної рівноваги при різних температурах для власних напівпровідників. Легованих не, та вироджених n-пр.</p>	<p>Лекція (2 год)</p>	1-8 та 9-11	<p>5. Електронні сенсори магнітного поля: калібрування магнітних полів з використанням давачів Холла. (4 год).</p>	6 тиждень семестру

7	<p>Тема 7. Зони Бриллюена – перша, друга та приведена. Залежність енергії електронів від хвильового числа біля дна і стелі дозволених зон – провідності та валентної. Структура енергетичних зон напівпровідників у k-просторі та їх електронні спектри $E(k)$. Прямозонні та непрямозонні напівпровідники. Одно- та багатодолинні напівпровідники. Зонна структура і електронна дисперсія $E(k)$ кремнію, германію та АЗВ5 (GaAs, InSb, GaP). Ефективні маси носіїв. (легкі та важкі). Багато долинні та прямозонні n-пр.</p>	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	<p>Модуль 1</p> <p>Захист виконаних лабораторних робіт (1 – 5) першого циклу та обговорення результатів. (2 год)</p>	7 тиждень семестру
8	<p>Тема 8. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках. Хімічний потенціал та рівень Фермі (потенціал Гібса). Функція розподілу для невиродженого електронного газу – носіїв заряду Фермі-Дірака по енергетичним станах у зонах та їх температурна залежність для власних і домішкових напівпровідників. Найпростіші пристрої напівпровідникової електроніки – терморезистори та варистори.</p>	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	6. Вивчення роботи напівпровідникових діодів (площинних та точкових) і дослідження їх ВАХ..(2 год).	8 тиждень семестру
9	<p>Тема 9. Концентрації вільних носіїв заряду у зонах та можливість їх змін шляхом легування та температури. Залежність положення рівня Фермі у власних та домішкових n-пр від температури та легування. Елементарна теорія енергетичних рівнів домішок у водневоподібній моделі атома Н. Бора. Основні легуючі домішки (донорні та акцепторні) та енергії їх іонізації (глибини залягання їх рівнів у забороненій зоні n-пр) для Si, Ge та арсеніду галію GaAs.</p>	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	7. Дослідження одно- та двопівперіодного випрямлення змінного струму з використанням напівпровідникових діодів та одержання постійної напруги. (2 год).	9 тиждень семестру

10	<p>Тема 10. Концентраційно-домішкове та температурне виродження n-пр і енергетичне положення рівня Фермі. Умова не/та виродження легованих напівпровідників і залежність виродження від ступеня легування та температури. Температури переходу домішкових n-пр у: вироджений стан та у власну провідність з виснаженням домішок. Густина станів носіїв у вироджених напівпровідниках. Домішкові зони.</p>	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	8. Вивчення роботи напівпровідникового стабілітрона: одержання його ВАХ та визначення його параметрів. (2 год).	10 тиждень семестру
11	<p>Тема 11. Застосування вироджених n-пр у напівпровідниковій електроніці. Тунелювання носіїв та Ефект Гана. Використання вироджених напівпровідників у деяких пристроях (Діоди Гана). Генерація електромагнітних коливань НВЧ високої та низької потужності. Терморезистори та позистори на вироджених окисних напівпровідниках. Тунельні діоди на p/n-переходах Єсакі і Тцу.</p>	Лекція (2 год)	1-7	9. Дослідження вольт-фарадних характеристик напівпровідникових p-n-переходів з використанням варікапів. (2 год).	11 тиждень семестру
12	<p>Тема 12. Дифузія і дрейф нерівновжних носіїв заряду. Рівняння неперервності та закони дифузії (рівняння Фіка). Дифузійний та дрейфовий струми. Співвідношення Ейнштейна, що описує дифузійно-дрейфовий перенос носіїв заряду. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду. Рух неосновних носіїв. Термоелектричні явища: термо-ЕРС, ефект Томсона, Пельтьє, Зеебека та концентраційно-градієнтна термоЕРС.</p>	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	10. Біполярний напівпровідниковий транзистор та основні його включення і ВАХ. (2 год)	12 тиждень семестру
13	<p>Тема 13. Кінетичні явища у напівпровідниках. Електропровідність власних і легованих n-пр. Розсіяння носіїв на теплових коливаннях ґратки – фононах. Статистика фононів Бозе-Ейнштейна. Акустичні й оптичні фонони та дисперсійні вітки їх частот $\omega(k)$ у зоні Бриллюена Залежність рухливості носіїв</p>	Лекція (2 год)	1-8 та 9-11	11. Дослідження відносної діелектричної проникності та діелектричних втрат у структурах $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{SiO}_2$, та напівпровідниках (Si, GaAs), що використовуються у польових транзисторах МДН..(2 год)	13 тиждень семестру

	від температури. Теплопровідність: механізми теплопереносу. Закон Відеманна-Франца. Використання Ефекту Холла для характеристики n-пр (рухливість, концентрація, тип носіїв заряду)				
14	Тема 14. Оптичні властивості напівпровідників. Спектр поглинання світла. Власне (фундаментальне) поглинання при прямих (вертикальних) та непрямих переходах електронів. Екситонне поглинання. Поглинання домішками та вільними носіями заряду. Залежність краю фундаментального поглинання від температури. Люмінесценція та релаксація фотолюмінесценції напівпровідників та її температурне гасіння.	Лекція (2 год)	1-8	Захист виконаних лабораторних робіт (6 – 11) другого циклу та обговорення результатів. (2 год)	14 тиждень семестру
15	Тема 15. Опична генерація і рекомбінація нерівноважних носіїв заряду. Термодинамічно рівноважні і нерівноважні носії заряду. Біполярна та монополярна генерація носіїв заряду світлом. Максвелівський час релаксації. Види рекомбінації носіїв. Міжзонна випромінювальна та міжзонна ударна рекомбінація. Рекомбінація носіїв заряду через: центри захоплення та через локальні рівні і температурна залежність часу життя носіїв. Центри прилипання і центри рекомбінації.	Лекція (2 год)	1-8	Контрольні запитання до виконаних лабораторних робіт підведення підсумків .(2 год)	15 тиждень семестру

16	<p>Тема 16. Фотоелектричні явища у напівпровідниках. Зовнішній та внутрішній фотоефект та фотопровідність і її релаксація. Фотопровідність при наявності поверхневої рекомбінації і дифузії носіїв заряду. Домішкова фото провідність. Ефект Дембера у напівпровідниках та його використання у сонячній генерації електрики та напівпровідникових сенсорах газу резистивного типу. Нестационарний ефект Дембера. Прояв нестационарного ефекту Дембера у вузькозонних напівпровідниках з високою рухливістю електронів (InSb, InAs) та генерація ТГц випромінювання</p>	Лекція (2 год)	1-8	<p>Модуль 2</p> <p>Підведення підсумків лабораторного практикуму. Контрольні запитання. Обговорення досягнутих результатів. Підготовка до Іспиту (2 год)</p>	16 тиждень семестру
----	---	-------------------	-----	--	---------------------