

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

“Твердотільна електроніка”,
що викладається в межах освітньої програми
“Електроніка та комп'ютерні системи”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
для здобувачів з спеціальності
171 «Електроніка»

Львів 2024 р.

Назва дисципліни	Твердотільна електроніка
Адреса викладання дисципліни	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. ген. Тарнавського, 107
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, автоматизація та електронні комунікації 171 Електроніка
Викладач дисципліни	Павлик Богдан Васильович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
Контактна інформація викладача	bohdan.pavlyk@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/pavlyk-b-v Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. ген.Тарнавського, 107, лаб. 410.
Консультації з питань навчання по дисципліні Відбуваються	У день проведення лекційних/лабораторних занять відповідно до розкладу (вул. ген.Тарнавського, 107). Також проводяться онлайн консультації на платформі Microsoft Teams. Для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/tverdotilna-elektronika-2/ https://teams.microsoft.com/#/school/conversations/%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%BE%D1%82%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80?threadId=19:88eb1fc730fa43e69d7e1dc20fba1341@thread.tacv2&ctx=channel
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Твердотільна електроніка» є нормативною дисципліною з спеціальності 171 «Електроніка» освітньої програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в четвертому семестрі в обсязі 4,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS)

Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Твердотільна електроніка» вивчає процеси, які відбуваються в пристроях і матеріалах мікроелектронних систем та засади їх роботи.
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни є освоєння студентами знань про фізичні процеси в матеріалах та пристроях сучасної мікроелектроніки. Розуміння і вміння пояснити принципи функціонування пристроїв мікроелектроніки, їх експлуатаційні характеристики і практичне застосування.
Література для вивчення дисципліни	<p style="text-align: center;">Базова</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. А.О.Дружинін, Твердотільна електроніка (фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів). Л., 2009, 330 с. 2. Ю.М. Височанський, А.А. Горват, О.О. Грабар, О.О. Молнар та ін. Твердотільна електроніка. Уж., «ІВА» 2001, 385 с. 3. Б.В. Павлик, І.М. Матвіїшин, Л.В. Костик, Л.М. Шпак Практикум з твердотільної електроніки. Л., 2012, 125 с. 4. А.О.Дружинін, Твердотільна електроніка, Л., «ЛП», 2011, 250 с. 5. Р.М. Лис, Б.В. Павлик, Фізичні основи твердотільної електроніки, Л., 2019, 210 с. 6. В.П. Савчин, І.І. Іжнін, М.М. Ваків Напівпровідникова фотоелектроніка. Л., 2010, 726 с. 7. І.М. Бондаренко, О.В. Бородін, О.Б. Галат, В.П. Карнаутенко Твердотільна електроніка. Харків, 2020, 241 с. <p style="text-align: center;">Допоміжна</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Бабич О.Й., Галій П.В., Парандій П.П., Функціональна мікроелектроніка. Л., 2014, 175 с. 6. Савчин В.П., Шувар Р.Я. Електронне перенесення в напівпровідниках та напівпровідникових структурах. Л., 2008, 688 с.
Обсяг курсу	Загальний обсяг 135 год. Аудиторних занять – 64 год.: 32 год. - лекційних занять, 32 год - лабораторних занять. Самостійна робота – 71 год
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: електронні характеристики базових матеріалів електронної техніки, механізми струмоперенесення у матеріалах та структурах, контактні явища що в напівпровідниках, фізичні засади роботи діодних і транзисторних структур, приладів з від’ємним диференціальним опором, оптичелетронні пристрої;</p> <p>вміти: використати набуті знання принципів побудови пристроїв твердотільної електроніки, їх основні характеристики для практичного їх використання у виробничій сфері.</p> <p>Після вивчення курсу здобувачі набувають таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p>ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p>

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 твердотільної, функціональної та енергетичної електроніки, електротехніки.

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.

ФК7. Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструкцій пристроїв та систем електроніки.

ФК8. Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та 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.

ПР1. Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.

ПР4. Оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, розуміти основи твердотільної електроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, перетворювальної та мікропроцесорної техніки.

	<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>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	напівпровідникові та діелектричні матеріали, напівпровідникові контактні структури і пристрої, пристрої з від'ємним диференціальним опором.
Формат курсу	Очний.
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін: «Матеріали та компоненти сучасної електроніки», «Фізичні основи електроніки», «Напівпровідникова електроніка».
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися	Лекції, презентації, інтерактивні вправи, лабораторні завдання, групові завдання, дискусія. Робота в системі Microsoft Teams для здійснення модульного контролю, завантаження виконаних лабораторних занять.

неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися 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 підсумкового іспиту. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час занять в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (10 лабораторних робіт) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосередньо її виконання і захисту.

Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 3 балів ($10 \times 3 = 30$ балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

3 – 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 – студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, самостійно реалізує 75% від поставлених для виконання роботи завдань, однак присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по отриманих результатах;

1 – студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні, не конкретні відповіді на запитання по темі, 50% від поставлених завдань реалізує самостійно;

0,5 – студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може реалізувати та пояснити 25% від поставлених у 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 проводяться у формі тестових завдань (модулів): 2 модулі по 10 балів кожний. Кожний модуль

містить 20 запитань, за кожен правильну відповідь нараховується 0,5 бала.

Іспит (50 балів) складається з письмової відповіді студента на два питання в екзаменаційному білеті. Правильна відповідь на одне з питань приносить 25 балів.

Після оголошення студентам сумарної кількості балів отриманих кожним студентом за семестр (30 балів за виконання та захист лабораторних робіт та 20 балів за контрольні заміри знань) та за складання іспиту (50 балів), студенту оголошується відповідна оцінка, яка відповідає кількості набраних балів.

Критерії:

Бали за відповідь теоретичного питання	Критерії оцінювання
20-25	Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, яка містить аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.
12-19	Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
6-11	Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
1-5	Відповідь яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно. Відсутність чіткого і логічного формулювання.
0	Відповідь відсутня.

Питання до іспиту

1. Механізми розсіювання носіїв заряду в напівпровідникових матеріалах.
2. Типи хімічного зв'язку в кристалах.
3. Показати, чому контакт метал-н/п може мати практичне використання і яке?
4. Положення рівня Фермі і концентрація носіїв заряду в акцепторному (р-тип) напівпровіднику.
5. Вироджений та невироджений електронний газ.
6. Змішане розсіювання носіїв заряду в н/п.
7. Електронне заповнення енергетичних зон в н/п та металах.
8. Енергетична характеристика контакту метал-н/п.
9. Діоди на основі бар'єрів Шотткі.
10. Положення рівня Фермі та концентрація носіїв заряду у власних н/п.
11. Фоторезистори та фотодіоди.
12. Як можна визначити T_i і T_s в н/п.
13. Особливості температурної залежності електропровідності легованих напівпровідникових кристалів.

- 14.Рух електронів в кристалічних твердих тілах під дією зовнішнього електричного поля.
- 15.Характеристики контакту метал-н/п.
- 16.Концентрація дірок в акцепторному н/п та температурний хід рівня Фермі.
- 17.Внутрішній фотоефект в н/п кристалах. Генерація та рекомбінація носіїв заряду.
- 18.Генерація носіїв заряду при поглинанні світла. Власне поглинання.
- 19.Домішкове поглинання в н/п.
- 20.Нерівноважні носії заряду в н/п.
- 21.Основні параметри та характеристики кристалів Si (оптичні та електрофізичні).
- 22.Випрямлення струму на р-п – переходах та на контакті метал-н/п.
- 23.Фізичні принципи роботи тунельних діодів.
- 24.Тунельний пробій в н/п структурах і його використання.
- 25.Лавинний пробій в н/п стабілітронах.
- 26.Фізичні принципи стабілізації напруги.
- 27.Варікап та його характеристики.
- 28.Тунельний діод та його використання.
- 29.Ефект Холла в н/п кристалах.
- 30.Енергетична діаграма зон переходу метал-напівпровідник
- 31.ВАХ контакту метал-напівпровідник.
- 32.Вольт-фарадна характеристика бар'єру Шотткі.
- 33.Випрямні та омичні контакти структури метал-напівпровідник.
- 34.Струм насичення у напівпровідникових діодах і його залежність від температури.
- 35.Нестаціонарні фізичні процеси в напівпровідникових діодах.
- 36.Бар'єрна та дифузійна ємність р-п – структур.
- 37.Імпульсні діоди та їх принципи роботи.
- 38.Фотодіоди з бар'єром Шотткі.
- 39.Тиристори та їх принципи роботи.
- 40.ВАХ тиристора і ділянки на ній.
- 41.Симетричний тиристор.
- 42.Основні параметри і характеристики тиристорів.
- 43.Біополярні транзистори: фізичні основи їх роботи.
- 44.Структура, режими роботи і типи біполярних транзисторів.
- 45.Ефект Ірлі в біполярних транзисторних структурах.
- 46.Динамічні параметри біполярних транзисторів.
- 47.Власний коефіцієнт підсилення транзисторів за струмом.
- 48.Типи статичних характеристик біполярних транзисторів.

	<p>49. Гібридні статичні характеристики біполярних транзисторів.</p> <p>50. Біполярний транзистор з бар'єром Шотткі.</p> <p>51. Порівняння параметрів бездрейфового і дрейфового біполярного транзистора.</p> <p>52. Ідеальна МДН-структура та напруга плоских зон.</p> <p>53. Вплив заряду в діелектрику на властивості МДН-структур.</p> <p>54. Структура і принцип дії польового транзистора.</p> <p>55. Статичні характеристики МДН-структур.</p> <p>56. Польовий транзистор з керуючим р-п – переходом.</p> <p>57. Еквівалентна схема і частотні характеристики польових транзисторів.</p> <p>58. Структура і принцип дії польових транзисторів із затвором Шотткі.</p> <p>59. Статичні характеристики польових транзисторів із затвором Шотткі.</p> <p>60. Польові транзистори із затвором Шотткі і гетеропереходи.</p> <p>61. Основні параметри польових транзисторів із затвором Шотткі.</p> <p>62. Електронні ключі на біполярних транзисторах.</p>
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	<p>Тема 1. Історія, проблеми та перспективи твердотільної електроніки.</p> <p>Ознайомлення студентів з програмою курсу, системою оцінювання знань (100 б. система: 50 балів – іспит; 30 балів – лаб. заняття; 2 x 10 балів – модульні заміри знань.</p> <p>Інтегральна мікроелектроніка і її складові компоненти.</p> <p>Об'єм наповнення базових активних і пасивних елементів на одиницю площі та одиницю об'єму кристалічного зразка.</p>	Лекція 2 год.	1, 3	<p>Вступне заняття.</p> <p>Інструкція з техніки безпеки та охорони праці. Ознайомлення із завданням лабораторних робіт, оформленням звітів та їх правила захисту.</p> <p>2 год.</p>	1 тиждень семестру

	<p>Проблеми тепловідводу з інтегральних мікросхем і сильнострумівих елементів твердотільної електроніки.</p> <p>Особливості і коротка характеристика акустоелектроніки, магнітоелектроніки, н/п електроніки, біоелектроніки, квантової електроніки та функціональної електроніки.</p>				
2	<p>Тема 2. Кристалічні та аморфні тверді тіла. Хімічні зв'язки в кристалах.</p> <p>Умови формування кристалічного стану твердих тіл. Обґрунтування періодичності кристалічної структури. Електронна комірка та її характеристики. Індеси Міллера та їх фізичний зміст. Сингонії кристалів. Щільність упаковки, координаційне число, електронегативність, електронне споріднення. Хімічні зв'язки в кристалах та їх основні характеристики: ковалентний, йонний, ван-дервальсівський металевий, водневий та змішаний зв'язки. Умови формування хімічних зв'язків, їх основні параметри та властивості. Реальні кристали та дефекти кристалічної структури н/п та діелектричних матеріалів (Si, Ge, GaAs, SiO₂, SiN₄, і т.п.).</p>	Лекція 2 год.	3,9	Експериментальне підтвердження ефекту Шотткі. 4 год.	2, 3 тиж. семестру
3	<p>Тема 3. Елементи статистики носіїв заряду в н/п матеріалах.</p> <p>Основні та неосновні носії заряду. Рівноважні та нерівноважні носії заряду.</p>	Лекція 2 год.	2, 4		

	Нерівноважні електрофізичні процеси в напівпровідниках. Поверхневі явища. Електропровідність, електричні струми і поле в напівпровідниках.				
4	Тема 4. Фотоелектричні явища. Фотоелектричні явища в напівпровідниках. Класифікація та характеристики приймачів оптичного випромінювання. Шуми при фотодефектуванні. Фоторезистори та їх характеристики. Фотодіоди, гетерофотодіоди. Оптоелектронні інтегральні мікросистеми: оптронна пара, транзисторні ключі.	Лекція 2 год.	5, 6	Дослідження електрофізичних та оптичних характеристик фоторезисторів. 4 год.	4, 5 тиж. семестру
5	Тема 5. Контактні явища Контактні явища в напівпровідниках. Контактна різниця потенціалів: напівпровідник-напівпровідник, метал-напівпровідник. Рівноважний стан p-n – переходу та його вольтамперна характеристика: ємнісні властивості p-n – переходу. Гетеропереходи.	Лекція 2 год.	4, 7		
6	Тема 6. Напівпровідникові діоди. Загальні властивості і різновиди діодних структур. Запірний та омічний контакти. Особливості контактних структур метал-напівпровідник. Рівняння ВАХ структур напівпровідник-напівпровідник та метал-напівпровідник.	Лекція 2 год.	7, 3	Дослідження параметрів стабілітронів з різними механізмами пробою. 4 год	6, 7 тиж. семестру

	Залежності опору і ємності опору і ємності діодних структур від прикладеного зовнішнього електричного поля та їх практичне використання. Напівпровідникові р-п структури з підсиленням фотоструму.				
7	Тема 7 Випрямляючі діодні структури. Типові ВАХ кремнієвих і германієвих діодних структур та їх характеристики та відмінності. Схема та характеристики діодного випрямляча. Визначення параметрів діода за його характеристикою. Частотні та температурні властивості випрямляючого діода. Схеми з'єднання випрямляючих діодів.	Лекція 2 год.	2, 7		
8	Тема 8. Високочастотні діоди. Високочастотні діоди: детекторні, змішувальні та модуляторні. Особливі характеристики та властивості. Надвисокочастотні діоди, їх ємнісні та інструктивні опори, конструкції. Імпульсні діоди, перехідні процеси в них та конструктивні особливості..	Лекція 2 год.	4, 7	Дослідження параметрів та характеристик варікапа. 4 год.	8, 9 тиж. семестру
9	Тема 9. Стабілітрони. Стабілітрони та їх конструктивні особливості. ВАХ та параметри стабілітронів. Стабілітрони з електронно-лавинним та тунельним механізмом пробою. Стабістори та їх відмінності від стабілітронів. Схеми включення стабілізаторів, напруги стабілізації.	Лекція 2 год.	1, 5		

10	<p>Тема 10. Варікапи. Варікапи, принципи дії, конструктивні особливості, характеристики та параметри. Вольтфарадна характеристика варікапа. Практичне використання варікапів та схема їх включення. Частотні характеристики. Особливості діодних структур з бар'єром Шоттки, їх структура та характеристики.</p>	Лекція 2 год.	5, 8	Дослідження ВАХ тиристорів. 4 год.	10, 11 тиж. семестру
11	<p>Тема 11. Тиристори. Тиристори та їх структура. Фізичні процеси в р-п – переходах тристорних структурах. ВАХ тиристора і ділянки на ній. Режими включення тиристорів: діодні, тріодні та тетрадні. Основні параметри та практичне використання тиристорів.</p>	Лекція 2 год.	4, 7		
12	<p>Тема 12. Тунельні діоди. Тунельні діоди, їх еквівалентна схема та конструктивні особливості. ВАХ і енергетичні діаграми тунельних діодів. Обернені тунельні діоди. Практичне використання тунельних діодів та їх основні характеристики.</p>	Лекція 2 год.	3, 7	Дослідження параметрів та характеристик тунельних діодів. 2 год.	12 тиж. семестру
13	<p>Тема 13. Біполярні транзисторні структури. Побудова і принцип дії біполярних транзисторів. Принцип дії бездрейфового біполярного транзистора. Підсилювальні властивості та включення транзисторів. Режими роботи та основні параметри. Ефект Ірлі. Динамічні та статичні характеристики біполярних транзисторів.</p>	Лекція 2 год.	1, 2	Дослідження статичних характеристик біполярних транзисторів. 2 год.	13 тиж. семестру

14	<p>Тема 14. Польові транзистори. Польові транзистори та особливості їх конструкції. Польові транзистори з р-п – затвором, їх характеристики та параметри. Принцип дії та характеристики польових транзисторів з ізольованим затвором. Частотні і шумові характеристики, а також їх статичні і динамічні характеристики.</p>	Лекція 2 год.	1, 2	Дослідження статичних характеристик польових транзисторів. 2 год.	14 тиж. семестру
15	<p>Тема 15. Ефект Ганна. Кристали GaAs в сильних електричних полях, їх вольтамперна характеристика та фізика процесів. Діоди Ганна, процеси генерування електромагнітних коливань струму. Частоти коливань струму в діодах Ганна. Пристрої на базі ефекту Ганна і їх практичне використання.</p>	Лекція 2 год	8, 9	Комп'ютерне моделювання процесів у стабілітронах. 2 год	15 тиж. семестру
16	<p>Тема 16. Акустoeлектронні явища. Акустoeлектронні явища в кристалічних твердих тілах. Взаємодія електронів з довгохвильовими акустичними коливаннями ґратки. Акустoeлектричний ефект і його практичне використання у поглинанні та підсиленні ультразвуку.</p>	Лекція 2 год.	6, 8	Підсумкове заняття. Узагальнення проблемних питань. 2 год	16 тиж. семестру