Силабус освітнього компонента
Програма навчальної дисципліни

Властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових приладів

Шифр та назва спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка,
176 – Мікро- та наносистемна техніка

Інститут
ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма
Стала та відновлювана енергетика: електрична та мікроелектронна інженерія

Кафедра
Мікро- та наноелектроніки (167)

Рівень освіти
Магістр

Тип дисципліни
Спеціальна (фахова), Обов'язкова

Семестр
1

Мова викладання
Українська, англійська

Викладачі, розробники

Кіріченко Михайло Валерійович
Mykhailo.Kirichenko@khpi.edu.ua
Кандидат технічних наук, старший дослідник, доцент кафедри мікро- та наноелектроніки НТУ «ХПІ».
Стаж роботи 16 років. Автор понад 200 наукових і навчально-методичних праць. Провідний викладач дисциплін: «Кристалічні сонячні елементи», «Комбіновані фотоенергетичні установки», «Вакуумна техніка», «Основи електронного захисту» та ін.
Детальніше про викладача на сайті кафедри

Загальна інформація

Анотація

Освітній компонент «Властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових приладів» спрямований на ознайомлення студентів із основними принципами та властивостями матеріалів, які використовуються у виробництві напівпровідникових приладів. Студенти отримають глибокі знання про структуру та властивості напівпровідникових матеріалів, а також ознайомляться з методами їх виготовлення та обробки. Курс також розглядає основні принципи функціонування напівпровідникових приладів, таких як транзистори, діоди та інші електронні компоненти. Студенти мають можливість вивчати сучасні технології виробництва напівпровідникових приладів та їх застосування в різних сферах, що сприяє розвитку їхніх практичних навичок і готовності до вирішення завдань у сфері електроніки та мікроелектроніки.

Мета та цілі дисципліни

Вивчення фізичних, електронних та оптичних властивостей напівпровідникових матеріалів. Мета полягає в забезпеченні оволодіння студентами теоретичними знаннями та набуття практичних вмінь і навичок з застосування сучасних методів дослідження фізичних властивостей, електронних й функціональних параметрів напівпровідникових монокристалічних бар’єрних і шарових

полікристалічних структур, практично важливих для застосування в виробах електронної техніки. Основні цілі включають забезпечення студентів, що вивчають дисципліну, теоретичними знаннями і практичними навичками, необхідними для виконання відповідними сучасними методами фундаментальних і прикладних досліджень фізичних властивостей, електронних, електричних та функціональних параметрів напівпровідникових монокристалічних бар'єрних і шарових полікристалічних напівпровідникових структур, котрі є найбільш актуальними для застосування в сучасних виробах електронної техніки.

Формат занять

Лекції, лабораторні та практичні заняття, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

Компетентності

СК1. Здатність обґрунтовано обирати, застосовувати наявні та розробляти нові методи, методики, технології для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.
СК2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення й аналіз отриманих результатів.
СК3. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові й технічні методи для вирішення науково-технічних проблем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки, оцінювати отримані результати.
СК5. Здатність планувати, виконувати й керувати теоретичними та експериментальними науковими дослідженнями у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.
СК6. Здатність розробляти й реалізовувати наукові та/або інноваційні проєкти у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.

Результати навчання

РН3. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері електроенергетики, електротехніки, електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності.
РН7. Будувати й досліджувати фізичні, математичні й комп'ютерні моделі об'єктів та процесів електроенергетики, електротехніки, електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки.
РНс2.1. Обирати і застосовувати відповідні методи проєктування і дослідження роботи мікро- та наносистемної техніки для систем відновлюваної генерації енергії.
РНс2.4. Планувати впровадження нових проєктних рішень у розробку та виробництво пристроїв мікро- та наносистемної техніки для систем відновлюваної генерації.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., практичні заняття – 16 год, лабораторні заняття – 16 год, самостійна робота – 56 год

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Не вимагаються

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Методами навчання у викладанні освітнього компоненту «Властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових приладів» являються: словесні (бесіда, дискусія, лекція, робота з книгою); наочні (ілюстрація практичними прикладами); практичні (практичні вправи, підготовлені доповіді студентів).
Активні методи навчання, які застосовуються у викладанні освітнього компоненту «Властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових приладів»: дискусія, метод конкретних практичних ситуацій, використання наукового устаткування кафедри.
Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій.

Під час виконання лабораторних робіт використовується проєктний підхід до навчання, акцентується увага на застосуванні інформаційних технологій та прикладного комп'ютерного програмування під час розрахунків і аналізу параметрів роботи напівпровідникових приладів. Навчальні матеріали доступні студентам на платформі Office Microsoft 365.

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Тема 1. Вступ. Мета викладання і задачі дисципліни.
Класифікація та загальна характеристика базових напівпровідникових приладових структур. Приклади залежності властивостей діодних структур від електронних параметрів їх напівпровідникових шарів.

Тема 2. Напівпровідникові структури з бар'єром Шоттки
Ідеалізована модель бар'єру. Модель бар'єру з високою густиною поверхневих електронних станів базового напівпровідникового кристала. Реальні бар'єри у випадках контакту кремнієвих кристалів з металами та з силіцидами металів. Сутність ефекту Шоттки. Залежність висоти бар'єру Шоттки від прикладеної до нього напруги та параметрів базового напівпровідникового кристала. Надбар'єрний перенос електронів. Квантово-механічне тунелювання електронів крізь бар'єр. Рекомбінація в області бар'єру.

Тема 3. Надбар'єрний перенос електронів. Квантово-механічне тунелювання крізь бар'єр.
Дифузійна теорія. Діодна теорія. Об'єднана дифузійно-термоемісійна теорія Кроуелла і Зі. Уявлення про польове і термопольове тунелювання та критерії переважання кожного з цих механізмів. Вольт-амперні характеристики діодів Шоттки при реалізації кожного з цих механізмів.

Тема 4. Рекомбінація в області бар'єру.
Вольт-амперні характеристики при рекомбінації в області бар'єру та при додатковій реалізації термоемісійного механізму переносу заряду над бар'єром.

Тема 5. Напівпровідникові структури з p-n-гомопереходами. Інжекція та екстракція носіїв заряду в області p-n-гомопереходу
Виникнення, класифікація, енергетичні діаграми і параметри p-n-гомопереходів. Електронні процеси при спряженні електронного та діркового напівпровідників тотожного походження. Природа і енергетичні діаграми різких симетричного й асиметричного та плавного лінійного гомопереходів. Залежності висоти потенційного бар'єру, товщини і бар'єрної ємності переходу від концентрації та характеру розподілу атомів легуючих домішок поблизу переходу й прикладеної до нього напруги.. Природа і наслідки процесів інжекції та екстракції носіїв заряду. Критерії широкої бази та низького і високого рівнів інжекції носіїв заряду. Аналітичний опис вольт-амперних характеристик відповідно до цих критеріїв.

Тема 6. Вольт-амперна характеристика p-n-гомопереходу з вузькою базою при низькому рівні інжекції. Вольт-амперна характеристика p-n-гомопереходу з генерацією і рекомбінацією нерівноважних носіїв заряду в області збіднення основними носіями заряду
Критерій вузької бази. Аналітичний опис вольт-амперної характеристики p-n-гомопереходу. Вплив швидкості поверхневої рекомбінації неосновних носіїв заряду з боку омічного контакту до бази на густину діодного струму насичення. Залежність швидкості поверхневої рекомбінації та густини діодного струму насичення від особливостей розподілу концентрації основної легуючої домішки з боку омічного контакту до бази. Залежність співвідношення між швидкостями рекомбінації і генерації нерівноважних носіїв заряду в області збіднення від полярності напруги на p-n-гомопереході. Особливості прямої й зворотної гілок вольт-амперної характеристики в залежності від об'ємних концентрацій рекомбінаційних центрів і уловлювачів в області збіднення. Вплив ширини забороненої зони і температури, а також параметрів нерівноважних носіїв заряду на співвідношення генераційної та теплової складових густини зворотного діодного струму насичення.

Тема 7. Вплив послідовного і шунтувального опорів реальних діодів з p-n-гомопереходами на їх темнові вольт-амперні характеристики
Природа послідовного і шунтувального опорів. Еквівалентні електричні схеми таких діодів у випадках їх однодіодного та двохдіодного наближень. Аналітичний опис і графічний вигляд темнових вольт-амперних характеристик реальних діодів.

Тема 8. Загальні уявлення про специфіку кристалічної структури полікристалічних напівпровідників і застосування електричної та бар'єрної моделей для пояснення їх фізичних властивостей

Вплив питомого опору і електронних параметрів матеріалу зерен та міжзеренних прошарків на аналогічні ефективні параметри полікристалічного напівпровідника, що відповідає електричній моделі. Випадки значно більшого та значно меншого питомого опору матеріалу міжзеренних прошарків у порівнянні з питомим опором матеріалу зерен.

Тема 9. Енергетичні діаграми і властивості полікристалічних напівпровідників, що відповідають бар'єрній моделі.

Виникнення і типи міжзеренних потенційних бар'єрів. Залежність висоти потенційних бар'єрів від густини електронних станів на міжзеренних границях, рівня легування і розміру зерен. Критерії формування діелектричних і інверсійних провідних міжзеренних границь.

Тема 10. Електронні явища переносу в полікристалічних напівпровідниках, що відповідають бар'єрній моделі

Реакція міжзеренних потенційних бар'єрів на прикладену до полікристалічного напівпровідника різницю потенціалів. Вольт-амперна характеристика полікристалічного напівпровідника при термоемісійному механізмі переносу заряду через міжзеренні потенційні бар'єри. Вплив потенційних бар'єрів на ефективні значення концентрації і рухливості носіїв заряду та питомого опору напівпровідника з діелектричними міжзеренними границями.

Тема 11. Застосування чотирьохзондового методу та ефекту Холла для дослідження параметрів неоднорідних напівпровідникових структур.

Вимірювання питомого опору контакту метал-напівпровідник у складі діодних структур з анізотипним гомопереходом чотирьохзондовим методом. Фізичні передумови і особливості реалізації. Інформаційні можливості ефекту Холла при дослідженні полікристалічних напівпровідників, що відповідають електричній та бар'єрній моделям. Визначення типу, ефективних значень концентрації і рухливості основних носіїв заряду в полікристалічних напівпровідниках за сталою Холла та ефективним питомим опором.

Тема 12. Дослідження властивостей і параметрів напівпровідникових структур за їх темновими вольт-амперними та амплітудно-часовими характеристиками.

Темнові вольт-амперні характеристики напівпровідникових структур з моностабільним і бістабільним перемиканням струму. Методичні особливості їх вимірювання та визначення електричних параметрів перемикання струму. Визначення часів моностабільного і бістабільного перемикання струму методом амплітудно-часової характеристики. Практичне заняття за темою 5.1. Методичні особливості вимірювання прямої та зворотної гілок темнової вольт-амперної характеристики. Способи аналітичного опрацювання експериментальної темнової вольт-амперної характеристики.

Тема 13. Визначення електричних, електронних і структурних параметрів полікристалічних напівпровідникових шарів, що відповідають бар'єрній моделі, за їх темновими вольт-амперними характеристиками.

Визначення ефективного питомого опору. Визначення висоти міжзеренних потенційних бар'єрів та розрахунок середнього розміру зерен і ефективної рухливості носіїв заряду при його термоемісійному переносі над бар'єрами.

Тема 14. Фізичні передумови і техніка визначення електронних параметрів напівпровідникових діодних структур з бар'єрами Шоттки та p-n-гомопереходами за їх вольт-фарадними характеристиками.

Фізичні передумови і методичні особливості вимірювання вольт-фарадної характеристики. Визначення електронних параметрів напівпровідникових діодних структур при аналітичному опрацюванні виміряної вольт-фарадної характеристики. Спосіб ідентифікації різких і плавних p-n-гомопереходів та характеру розподілу легуючої домішки в діодах Шоттки. Аналітичне опрацювання виміряних вольт-фарадних характеристик діодних структур для визначення їх електронних параметрів.

Тема 15. Загальні уявлення про устрій, роботу і параметри ФЕП та їх атестація за світловими вольт-амперними характеристиками

Еквівалентна електрична схема і світлова вольт-амперна характеристика ФЕП та методи її вимірювання. Визначення фотоструму, діодних і вихідних параметрів ФЕП при аналітичному опрацюванні експериментальної світлової вольт-амперної характеристики.

Тема 16. Визначення параметрів нерівноважних неосновних носіїв заряду в базових шарах ФЕП.

Вплив часу життя і дифузійної довжини нерівноважних неосновних носіїв заряду на напругу холостого ходу та коефіцієнт корисної дії ФЕП. Фізичні передумови і техніка визначення часу життя та дифузійної довжини нерівноважних неосновних носіїв заряду по загасанню напруги холостого ходу після припинення опромінювання ФЕП.

Теми практичних занять

ПЗ 1 – Напівпровідникові структури з бар'єром Шоттки.

ПЗ 2 – Квантово-механічне тунелювання крізь бар'єр.

ПЗ 3 – Напівпровідникові структури з p-n-гомопереходами. Інжекція та екстракція носіїв заряду в області p-n-гомопереходу

ПЗ 4 – Вольт-амперна характеристика p-n-гомопереходу з вузькою базою при низькому рівні інжекції.

ПЗ 5 – Особливості прямої й зворотної гілок вольт-амперної характеристики в залежності від об'ємних концентрацій рекомбінаційних центрів і уловлювачів в області збіднення.

ПЗ 6 – Вплив послідовного і шунтувального опорів реальних діодів з p-n-гомопереходами на їх темнові вольт-амперні характеристики

ПЗ 7 – Застосування чотирьохзондового методу та ефекту Холла для дослідження параметрів неоднорідних напівпровідникових структур.

ПЗ 8 - Визначення електричних, електронних і структурних параметрів полікристалічних напівпровідникових шарів, що відповідають бар'єрній моделі, за їх темновими вольт-амперними характеристиками.

Теми лабораторних робіт (ЛР)

ЛР 1 - Визначення діодних параметрів напівпровідникових структур з p-n переходом і бар'єром Шоттки за їх темновою вольт-амперною характеристикою.

ЛР 2 - Дослідження типу і основних параметрів випрямляючих переходів діодних структур методом темнової вольт-фарадної характеристики.

ЛР 3 - Визначення фотоструму, діодних і вихідних параметрів фотоелектричних перетворювачів за їх світловою вольт-амперною характеристикою.

ЛР 4 - Визначення часу життя та дифузійної довжини неосновних носіїв заряду в базовому кристалі фотоелектричного перетворювача методом загасання напруги холостого ходу після припинення його опромінювання.

Самостійна робота (СР)

Освітній компонент «Властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових приладів» передбачає самостійне опрацювання у вигляді написання реферату (РЕ) за однією з наданих викладачем тем. Студентам також рекомендуються додаткові матеріали для самостійного вивчення термінів та визначень.

Література та навчальні матеріали

Основна література

1. Находкін М. Г., Сизов Ф. Ф. Елементи функціональної електроніки. - Київ, УкрІНТІ, 2002. - 323 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.
3. Поп С.С., Шароді І.С. Фізична електроніка.-Львів:Свросвіт, 2001.-250с
4. Фізичні основи електроніки: курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: К.С. Дрозденко, – Електронні текстові данні (1 файл: 8,58 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 153 с.
5. Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). Physics of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons.
6. Streetman, B. G., & Banerjee, S. K. (2000). Solid State Electronic Devices (6th ed.). Prentice Hall.
7. Pierret, R. F. (1996). Semiconductor Device Fundamentals. Addison-Wesley.

8. Kittel, C. (2004). Introduction to Solid State Physics (8th ed.). Wiley.
9. Методичні вказівки до лабораторних робіт «Дослідження електронних параметрів і рекомбінаційних процесів в діодних напівпровідникових структурах за їх вольт-амперними, вольт-фарадними і амплітудно-часовими характеристиками» з розділів модуля «Сучасні методи дослідження мікро- та нанорозмірних напівпровідникових структур» дисципліни «Фізичні властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових структур» / Уклад.: В.Р. Копач, Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – 59 с.

Додаткова література

1. Jasprit Singh. (2009). Semiconductor Devices: Basic Principles. John Wiley & Sons.
2. Bhattacharya, P. (2015). Fundamentals of Semiconductor Devices (2nd ed.). McGraw-Hill.
3. Ben Streetman, S. (2005). Solid State Electronic Devices (5th ed.). Prentice Hall.
4. Bhattacharya, P. (2011). Semiconductor Optoelectronic Devices. Prentice Hall.
5. Kasap, S. O. (2010). Principles of Electronic Materials and Devices. McGraw-Hill.
6. Huang, K. (2009). Introduction to Semiconductor Materials and Devices. CRC Press.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

1. library.kpi.kharkov.ua – бібліотека НТУ «ХПІ». Електронний каталог та репозитарій електронних ресурсів.

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100 балів підсумкової оцінки складають результати оцінювання:

Екзамен: письмове завдання (2 запитання з теорії і розв'язання задачі) та усна доповідь – 20 балів.

Поточне оцінювання - 80 балів, з яких:
-лабораторні роботи – 10 балів (ЛР1, ЛР2 по 5 балів за кожну);
-розрахункова робота – 60 балів;
-самостійне вивчення матеріалу -10 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/

Погодження

Силабус погоджено	28.08.23		Завідувач кафедри Роман ЗАЙЦЕВ
	28.08.23		Гарант ОП Костянтин МАХОТІЛО