



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



Розробка новітніх конструкційно-технологічних рішень та методи атестації перетворювачів енергії електромагнітного випромінення

Шифр та назва спеціальності

176 «Мікро- та наносистемна техніка»

Інститут

ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма

Мікроелектроніка енергоефективності та електронний захист

Кафедра

Мікро та наноелектроніки (167)

Рівень освіти

Магістр

Тип дисципліни

Спеціальна (фахова), Вибіркова

Семестр

2

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники



Зайцев Роман Валентинович

roman.zaitsev@khai.edu.ua

Доктор технічних наук, професор, старший дослідник, завідувач кафедри

Має більш ніж 300 наукових та навчально-методичних праць, з них 67 у виданнях включених до наукометричних баз Scopus та Web of Science, 2 монографії, 2 підручники, 4 навчальні посібники та 12 патентів України на корисну модель. Керівник та виконавець більш ніж 10 науково-дослідних робіт в сфері сонячної енергетики.

Основні дисципліни:

- «Оптоелектронні прилади та матеріали»;
- «Розробка новітніх конструкційно-технологічних рішень та методи атестації перетворювачів енергії сонячного випромінювання»;
- «Плівкові оптоелектронні приладові структури»

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

Загальна інформація

Анотація

Професійна підготовка в галузі фундаментальних засад експериментального дослідження сучасними методами електричних, термоелектричних і гальваномагнітних властивостей, електронних та електричних параметрів однорідних напівпровідникових матеріалів, котрі є найбільш актуальними для застосування в приладах і пристроях електронної техніки (з урахуванням розвитку мікро- і наноелектроніки) та сонячної енергетики.

Мета та цілі дисципліни

Забезпечити студентів, що вивчають дисципліну, знаннями і навичками, необхідними для виконання відповідними сучасними методами фундаментальних і прикладних досліджень електрофізичних властивостей, електронних та електричних параметрів однорідних напівпровідникових матеріалів, котрі є найбільш актуальними для застосування в приладах і пристроях електронної техніки (з урахуванням розвитку мікро- і наноелектроніки) та сонячної енергетики.

Формат занять

Лекції, практичні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

Компетентності

ЗК4. Здатність проводити досліджень на відповідному рівні.

ФК1. Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві матеріалів, компонентів, приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення.

ФК3. Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та наноелектронні системи різного призначення.

ФК8. Здатність розробляти та застосовувати технологічні рішення виробництва приладів сонячної енергетики.

ФК9. Здатність досліджувати та експлуатувати прилади сонячної енергетики.

Результати навчання

ПРН1. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.

ПРН6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування.

ПРН11. Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів.

ПРН16. Проектувати, виготовляти, досліджувати параметри та експлуатувати пристрої сонячної енергетики у відповідності до вимог замовника.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 180 год. (6 кредитів ECTS): лекції – 48 год., практичні роботи – 32 год., самостійна робота – 100 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу студент має знати основні принципи проектування електричних та енергетичних систем, ключові матеріали та технології мікроелектроніки. Студент має володіти навичками безпечної професійної діяльності та навичками провадження дослідницької та практичної діяльності при вирішенні наукових та практичних проєктів. Успішно завершити дисципліни "Фізичні властивості та методи дослідження приладових структур" та "Функціональні матеріали елементів електронного захисту та сонячної енергетики".

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Теоретичний аналіз наукових джерел, робота в малих групах, практичні вправи. Дисципліна побудована на професійній підготовці в галузі фундаментальних засад експериментального дослідження сучасними методами електричних і фотоелектричних властивостей, електронних, електричних та функціональних параметрів шарових монокристалічних і полікристалічних напівпровідникових структур з мікро- й нанорозмірними

складовими, котрі є найбільш актуальними для застосування в приладах і пристроях електронної техніки та сонячної енергетики.

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Тема 1. Основні параметри фотоелектричних перетворювачів.

Залежність ККД фотоелектричних перетворювачів від їх електронних і діодних параметрів при різній концентрації сонячного випромінювання. Основні співвідношення між електронними, діодними параметрами і ККД. Вплив дефектів структури базових кристалів на ККД. Чинники залежності ККД від концентрації сонячного випромінювання.

Тема 2. Сучасні конструктивно-технологічні рішення і ККД високоефективних фотоелектричних перетворювачів.

Одноперехідні фотоелектричні перетворювачі з горизонтальною діодною структурою. Багатоперехідні фотоелектричні перетворювачі з вертикальними діодними комірками. Тонкоплівкові фотоелектричні перетворювачі та перетворювачі на основі гетеросистем. Комбіновані фотоенергетичні установки. Експериментальне підтвердження принципової можливості на прикладі напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів з полікристалічними і органічними базовими шарами валивати на їх ККД. Напрямки підвищення ефективності фотоелектричних перетворювачів і зниження їх вартості з урахуванням результатів прогнозних досліджень.

Тема 3. Загальна характеристика однорідних, діодних та транзисторних структур.

Концептуальні визначення для кожного з основних типів напівпровідникових структур. Ключові елементи електронної енергетичної структури. Застосування в сучасних виробках електронної техніки та геліоенергетики.

Тема 4. Приклади залежності параметрів основних типів базових напівпровідникових структур від параметрів їх напівпровідникових шарів

Приклади впливу параметрів електронної енергетичної структури і основних носіїв заряду на властивості та функціональні параметри термо-, газо-, магніторезисторів та варисторів. Приклади впливу параметрів електронної енергетичної структури і неосновних носіїв заряду на властивості та функціональні параметри діодів, біполярних та польових транзисторів. Класифікація електронних і електричних параметрів напівпровідникових шарів, котрі переважно визначають функціональні можливості та характеристики виробів електронної техніки та геліоенергетики.

Тема 5. Класифікація та загальна характеристика методів визначення питомого електроопору.

Розподіл контактних методів на методи амперметра-вольтметра, мостові, зондові та їх загальна характеристика. Розподіл безконтактних методів на ємнісні та індуктивні і загальна характеристика цих методів.

Тема 6. Визначення питомого опору однорідних зразків правильної геометричної форми методами амперметра-вольтметра і моста постійного струму.

Природа, засоби виготовлення та дослідження властивостей омичного контакту. Фізичні передумови методів амперметра-вольтметра і моста постійного струму та особливості їх реалізації в залежності від величини опору досліджуваних зразків.

Тема 7. Визначення питомого електроопору напівпровідників зондовими методами.

Двезондовий метод. Переваги і недоліки двезондового методу у випадку зразків правильної геометричної форми. Застосування чотиризондових методів для зразків довільної форми у випадках наближення напівнескінченного розміру, обмеженого розміру, тонких пластин та плівкових шарів. Локальне визначення питомого електроопору однозондовими методами.

Тема 8. Ємнісні та індуктивні методи безконтактного вимірювання питомого електроопору.

Фізичні передумови і загальні уявлення про застосування.

Метод вібруючого ємнісного зонду. Метод мосту змінного струму з ємнісним зв'язком. Метод коливального контуру з ємнісним зв'язком. Метод коливального контуру з індуктивним зв'язком.

Тема 9. Фізична природа ефекту Холла і його використання для дослідження електронних параметрів слабо легованих напівпровідників з простими домішковими центрами одного типу.

Фізична природа ефекту Холла. Залежність сталої Холла від типу, концентрації і механізму розсіяння основних носіїв заряду. Техніка експерименту з визначення сталої Холла. Визначення типу, концентрації та рухливості основних носіїв заряду в напівпровідниках для області

домішкової провідності. Визначення концентрації та рухливості носіїв заряду у напівпровідниках для областей змішаної та власної провідності. Дослідження ширини забороненої зони та енергії іонізації домішкових центрів.

Тема 10. Визначення параметрів основних носіїв заряду методом Ван-дер-Пау та по залежності ефекту магнітоопору від індукції магнітного поля.

Сутність методу Ван-дер-Пау і техніка його реалізації. Особливості застосування методу Ван-дер-Пау в залежності від геометрії зразків. Фізичний та геометричний магніторезистивні ефекти. Оптимальна геометрія зразка для визначення рухливості основних носіїв заряду по залежності ефекту магнітоопору від індукції магнітного поля.

Тема 11. Механізми протікання струму в однорідних напівпровідниках при слабких і сильних електричних полях.

Критерій поділу електричних полів на слабкі та сильні. Омичний характер залежності струму від напруги для однорідних напівпровідників при слабких електричних полях. Механізми виникнення нерівноважних носіїв заряду в напівпровідниках і зміни їх рухомості під впливом сильних електричних полів та залежність вольт-амперної характеристики від кожного з цих механізмів.

Тема 12. Способи визначення механізмів протікання струму крізь однорідні напівпровідники за їх вольт-амперними характеристиками.

Експериментальне вимірювання ВАХ. Аналітичне опрацювання експериментально виміряних ВАХ. Умови існування струму, обмеженого об'ємним зарядом (СООЗ), та вплив пара-метрів уловлювачів на темнову ВАХ в режимі СООЗ. Основні співвідношення між параметрами уловлювачів та особливостями темрової ВАХ для однорідних напівпровідників з плоскопаралельними електродами у випадках моноенергетичних уловлювачів, а також уловлювачів з експоненціальним та однорідним розподілами рівней за енергіями. Методи опрацювання експериментальних ВАХ, виміряних в режимі СООЗ, з метою визначення енергетичних та концентраційних параметрів уловлювачів.

Теми практичних занять

Тема 1. Визначення питомого електричного опору однорідних напівпровідників за їхнім повним електричним опором

Тема 2. Визначення питомого електричного опору однорідних тонких напівпровідникових шарів чотиризондовим методом

Тема 3. Визначення типу основних носіїв заряду в напівпровідниках термоелектричним методом

Тема 4. Визначення параметрів основних носіїв заряду в напівпровідниках шляхом виміру електрорушійної сили Холла

Тема 5. Визначення параметрів основних носіїв заряду

Тема 6. Визначення рухливості основних носіїв заряду в напівпровідниках шляхом виміру геометричного магнітоопору

Тема 7. Дослідження темнових вольт-амперних характеристик кремнієвих фотоелектричних перетворювачів

Тема 8. Визначення фотоструму і вихідних параметрів фотоелектричних перетворювачів за світловою вольт-амперною характеристикою

Теми лабораторних робіт

Відсутні.

Самостійна робота

Самостійна робота студента виконується у вигляді розрахунково-графічної роботи (на вибір):

РГР 1: Вимірювання і аналітичне опрацювання темнових вольт-амперних характеристик кремнієвих фотоелектричних перетворювачів.

РГР 2: Вимірювання і аналітичне опрацювання темнових вольт-фарадних характеристик плівкових фотоелектричних перетворювачів.

РГР 3: Визначення фотоструму і вихідних параметрів фотоелектричних перетворювачів за світловою вольт-амперною характеристикою.

РГР 4: Визначення параметрів основних носіїв заряду в напівпровідниках шляхом виміру електрорушійної сили Холла.

РГР 5: Визначення питомого електричного опору однорідних тонких напівпровідникових шарів чотиризондовим методом.

Література та навчальні матеріали

Основна література:

1. R. F. Pierret, "Semiconductor Device Fundamentals", Addison-Wesley, 1996.
2. D. A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices," McGraw-Hill, 2012.
3. J. Palmer, "The Art of Radiometry," CRC Press, 2006.
5. D. K. Schroder, "Semiconductor Material and Device Characterization," John Wiley & Sons, 2006.
6. P. Horowitz and W. Hill, "The Art of Electronics," Cambridge University Press, 2015.
7. S. M. Sze and K. K. Ng, "Semiconductor Devices: Physics and Technology," John Wiley & Sons, 2006.
8. Chetan S. Solanki, Brij M. Arora, Juzer Vasi and Mahesh B. Patil, " Identifying and Measuring the Parameters of a Solar PV Module in the Field", Cambridge University Press, 2013.
9. Technology Bases of Combined Photovoltaic Systems / R. Zaitsev, M. Kirichenko, K. Minakova, G. Khrypunov, V. Nikitin - Transactions on Physics & Math in Engineering Science, Ser.A, Vol. 1, Kharkiv: NTU "KhPI", 2023. - 240 p.
10. Комбіновані фотоенергетичні системи / Р.В. Зайцев, Г.С. Хрипунов, М.В. Кіріченко, А.В. Меріуц - Харків: Стильздат, 2020. – 324 с.
11. High Concentrator Photovoltaics / ed. by Pedro Pérez-Higueras, Eduardo F. Fernández - Springer, 2015. - 477 p.
12. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering / ed. by Antonio Luque, Steven Hegedus - John Wiley & Sons, 2010. - 1132 p.

Додаткова література:

1. Методи дослідження структури тонких плівок : підручник / Р.В. Зайцев, М.В. Кіріченко, Л.В. Зайцева, Г.С. Хрипунов, А.М. Дроздов, Г.А. Дроздова - Харків: Стильздат, 2021. – 320 с.
2. Фізика напівпровідникових приладів : навч. посіб. / М.В. Кіріченко, Р.В. Зайцев, К.О. Мінакова - Харків: НТУ «ХПІ», 2023. - 179 с.
3. Фізичне матеріалознавство для мікро- та наноелектроніки: дослідження структури тонких плівок електроннографічними методами : навчальний посібник. Том 1 / Б.Т. Бойко, В.І. Шкалето, Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев - Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – 142 с.
4. Фізичне матеріалознавство для мікро- та наноелектроніки: дослідження структури тонких плівок методами скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії : навчальний посібник. Том 2 / Г.С. Хрипунов, Р.В. Зайцев, А.Л. Хрипунова, М.В. Кіріченко, О.В. Момотенко - Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – 198 с.

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Підсумкова оцінка складається із наступних обов'язкових частин:

1. Звіти за результатами розрахунків практичних занять 1-8 - 5 балів кожний (40%).
2. Звіт за результатами індивідуальної РГР - 20 балів (20%).
3. Залік - 40 балів (40%).

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

24.06.2024

Завідувач кафедри
Роман ЗАЙЦЕВ

24.06.2024

Гарант ОП
Роман ЗАЙЦЕВ