

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**Національний авіаційний університет**

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей

УЗГОДЖЕНО

В.о. Декана ФАЕТ
 _____ С.Завгородній
 «22» 02 2021 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
 _____ А. Полухін
 «23» 02 2021 р.



Система менеджменту якості

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
«Фізика малорозмірних ефектів»

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування
 Спеціальність: 153 Мікро- та наносистемна техніка
 Освітньо-професійна програма: Фізична та біомедична електроніка

Форма навчання	Семестр	Усього (годин/кредитів ECTS)	Лекції	Практ. заняття	Лаб. заняття	СРС	ДЗ / РГР / К.р.	КР / КП	Форма сем. контролю
Денна:	2	180/6,0	38	38	-	104	-	-	диф.залік - 2 с
Заочна	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Індекс: НБ-2-153-3/20-1.10



Робочу програму навчальної дисципліни «Фізика малорозмірних ефектів» розроблено на основі освітньої програми та навчального плану № НБ-2-153-3/20 підготовки здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 153 «Мікро- та наносистемна техніка» за освітньо-професійною програмою «Фізична та біомедична електроніка», та відповідних нормативних документів.

Робочу програму розробив:
професор кафедри ЕРМІТ

Е. Азнаєв

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні випускової кафедри спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» (освітньо-професійна програма: «Фізична та біомедична електроніка») - кафедри ЕРМІТ, протокол № 3 від «15» 02 2021 р.

Завідувач кафедри

В. Шутко

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні науково-методично-редакційної ради факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій, протокол № 6 від «22» 02 2021 р.

Голова НМРР

О. Кривоносенко

Рівень документа – 3б

Плановий термін між ревізіями – 1 рік

Контрольний примірник



ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА.....	4
1.1. Заплановані результати	4
1.2. Програма навчальної дисципліни.....	5
2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	7
2.1. Структура навчальної дисципліни.	7
3. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ.....	8
3.1. Методи навчання.....	8
3.2. Рекомендована література.....	9
3.3. Інформаційні ресурси в Інтернеті.....	9
4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ НАБУТИХ СТУДЕНТОМ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ	10



ВСТУП

Робоча програма (РП) навчальної дисципліни «Фізика малорозмірних ефектів» розроблена на основі «Методичних рекомендацій до розроблення та оформлення робочої програми навчальної дисципліни денної та заочної форм навчання», затверджених розпорядженнями № 071/роз. від 10.07.2019 р., № 088/роз. від 16.10.2019 р. та відповідних нормативних документів.

1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

1.1. Заплановані результати

Місце даної дисципліни в системі професійної підготовки фахівця: дана навчальна дисципліна є теоретичною основою сукупності знань та вмінь, що направлені на підготовку до вивчення та засвоєння циклу дисциплін з мікро- та наносистемної техніки професійного спрямування.

Метою викладання дисципліни є розкриття сучасних наукових концепцій, понять, методів та технологій формування у студентів знань, які необхідні для розуміння принципу роботи та проектування електронних пристроїв побудованих на принципах фізики малорозмірних систем, які використовуються в мікро- та наносистемній техніці, а також придбання практичних навичок знаходження фізичних характеристик таких систем.

Завданнями вивчення навчальної дисципліни є:

- вивчення основних напрямків розвитку електронних пристроїв побудованих на принципах фізики малорозмірних систем, оволодіння знаннями про призначення та принцип дії елементів та вузлів таких електронних пристроїв;
- оволодіння комплексом знань, які необхідні для плідної участі в творчій науковій роботі шляхом застосування практичних і теоретичних знань, отриманих за час навчання у ВНЗ;
- висвітлення основних напрямків, закономірностей, змісту і форм наукової творчості, методів планування, організації і керування науковою творчістю та роботою наукових колективів, конкурсного добору наукових проектів;
- дослідження сучасних теоретичних і експериментальних методів пошуку нових інженерних рішень в електроніці;
- ознайомлення з основними фізичними принципами функціонування та розробки електронних пристроїв та систем, винахідницької та раціоналізаторської роботи,;
- виявлення творчих задатків та розвиток здібностей студентів, вироблення практичних навичок і умінь виконання наукових досліджень та роботи в наукових колективах.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути наступні **компетентності**:

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі мікро- та наносистемної техніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів автоматизації та електроніки.

ЗК-1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК-2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК-6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість.

ЗК-12. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

ФК-1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.



ФК-2. Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки.

ФК-3. Здатність використовувати математичні принципи і методи для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

ФК-4. Здатність застосовувати відповідні наукові та інженерні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, комп'ютерні мережі, бази даних та Інтернет-ресурси для розв'язування професійних завдань у галузі мікро- та наносистемної техніки.

ФК-5. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей.

ФК-6. Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструктивних елементів геліоенергетики, приладів фізичного та біомедичного призначення.

ФК-7. Здатність розв'язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації.

Міждисциплінарні зв'язки

Навчальна дисципліна «Фізика малорозмірних ефектів» використовує знання, які набувають студенти при вивченні таких дисциплін, як: «Вища математика», «Фізика», та є базою для вивчення таких дисциплін, як: «Фізика твердого тіла», «Основи фізики живих систем», «Аналогова та цифрова схемотехніка» та інших.

Програма навчальної дисципліни.

Навчальний матеріал дисципліни структурований за модульним принципом і складається з двох навчальних модулів, а саме:

- навчального модуля №1 «Фізичні основи мікро- та наноелектроніки»;
- навчального модуля №2 «Мікро- та наноелектронні пристрої»;

кожен з яких є логічно завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчальної дисципліни, засвоєння якої передбачає проведення модульної контрольної роботи та аналіз результатів її виконання.

Модуль №1 «Фізичні основи мікро- та наноелектроніки».

Тема 1. Сучасний етап розвитку наноелектроніки.

Інформаційні електронні системи. Розвиток радіотехніки і електроніки: етапи лампової електроніки, напівпровідникової та інтегральної електроніки. Наукові відкриття, основні досягнення, технічний рівень, елементна база і схемо-технічні рішення. Основні рівні проектування інтегральних схем: фізичний, електричний, логічний, схемотехнічний, топологічний, програмний. Класифікація інтегральних мікросхем за ступенем інтеграції, технології виготовлення, виду оброблюваних сигналів.

Тема 2. Технічні та наукові передумови переходу від мікроелектроніки до наноелектроніки.

Нанотехнології як засіб розв'язання проблем мікроелектроніки на шляху підвищення ступеня інтеграції і швидкодії ІМС. Огляд наукової бази наноелектроніки. Нановуглецева електроніка. Електронні властивості графена.

Тема 3. Основні положення квантової механіки.

Зв'язок наноелектроніки і квантової фізики. Основні представлення квантової механіки. Гіпотеза Планка. Хвильова і квантова теорія світла. Хвильовий вектор і хвильове число. Довжина хвилі де Бройля. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Просторова і енергетична моделі атома. Постулати Бора. Квантове число, квантова енергія. Потенційна енергія електрона в атомі. Рівняння Шредингера. Рух частинки у центрально-симетричному полі. Рух частинки у кулонівському полі.



Тема 4. Квантові основи наноелектроніки.

Теорія збурень. Рівень Фермі. Принцип тотожності однакових частинок. Вторичне квантування. Атом в електричному полі. Атом у магнітному полі. Власна електропровідність напівпровідників. Інтегральна форма запису закону Ома. Питома електропровідність речовини. Теплова генерація і рекомбінація носіїв заряду.

Тема 5. Енергетична модель атома.

Енергетична модель атома водню. Потенційні ями і потенційні бар'єри. Енергетичний спектр мікрочасток в потенційній ямі. Хвильові функції для енергетичних станів. Співвідношення для нескінченно глибокої потенційної ями. Тунельний ефект. Щільність ймовірності виявлення мікрочастинки в межах потенційної ями кінцевої глибини. Ймовірність тунельного ефекту.

Тема 6. Взаємодія атомів в кристалі.

Квантова теорія систем з однакових частинок. Рівняння Шредингера для систем з однакових частинок. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Теорія основного стану атомів з двома електронами. Метод самоузгодженого поля Хартри-Фока. Елементарна теорія молекул та хімічного зв'язку.

Тема 7. Утворення зонного енергетичного спектру кристала.

Енергетична модель кристала. Взаємодія атомів в кристалі. Зв'язок зонного енергетичного спектру з дискретним спектром кристала. Утворення зонного енергетичного спектру. Дозволені і заборонені зони. Розподіл речовин на метали, діелектрики та напівпровідники.

Тема 8. Напівпровідниковий перехід як основний компонент наноелектроніки.

Власні і домішкові атоми. Поняття р–п-переходу. Енергетичні зони на межі дірчастого і електронного напівпровідників. Напівпровідникові структури в мікро- наноелектроніці. Приклади меж розділу між областями матеріалів з різною електропровідністю. Розмірні ефекти. Збіднений шар, бар'єрна ємкість. Вольт-амперна характеристика р–п-переходу

Тема 9. Основні квантовомеханічні характеристики тіл.

Ефективна маса електрона. Генерація нерівноважних носіїв під впливом випромінювання. Фотопровідність кристала напівпровідника. Залежність критичної температури від ширини забороненої зони матеріалу напівпровідника.

2.2. Модуль №2 “Мікро- та наноелектронні пристрої”.

Тема 1. Розподіл концентрації домішок та вільних носіїв заряду поблизу р–п-переходу.

Розподіл концентрації домішок та вільних носіїв заряду поблизу р–п-переходу. Електронна і дірчаста електропровідність. Температурна залежність власної і домішкової електропровідності. Домішкова електропровідність напівпровідників. Донорні та акцепторні домішки. Енергія активації. Розташування домішкових рівнів і рівня Фермі. Основні і неосновні носії заряду. Фізичні принципи функціонування діодів.

Тема 2. Транзистор як основа мікроелектронного приладу.

Фізичні принципи функціонування транзисторів. Структурна схема біполярного і уніполярного транзисторів. Принципи роботи. Оптиелектронні напівпровідникові елементи. Світлодіоди і інжекційні напівпровідникові лазери. Енергетичні діаграми і застосування гетеропереходів. Багатофункціональність р–п-переходу як схемного елемента інтегральної схеми. Планарні опір, конденсатор, діод, транзистор. Використання однорідних структур для створення ІМС.

Тема 3. Енергетичний спектр наноструктур. Квантоворозмірні ефекти.

Квантоворозмірні ефекти. Квантова яма, квантова дротина, квантова точка. Енергетичний спектр електронів і щільність електронних станів в низькорозмірних об'єктах.



Енергетичний спектр необмеженого кристала. Електронний газ в квантовій ямі, квантовій дротині, квантовій точці. Енергетичний спектр 3D-, 2D-, 1D- і 0D-електронного газу. Квантування енергії електронного газу в магнітному полі. Рівні Ландау. Квантовий ефект Хола.

Тема 4. Квантова яма, квантова дротина, квантова точка.

Квантові дротини, квантові точки. Нановуглецева електроніка. Вуглецеві нанотрубки і фулерени. Магнітооптоелектронні структури, магнітні напівпровідники. Гігантське магнітощеплення. Скануючі зондові мікроскопи.

Тема 5. Енергетичний спектр електронів в надрешітках. Резонансний тунельний ефект.

Резонансне тунелювання. Резонансно-тунельний діод. Напівпровідникові надрешітки. Енергетичні діаграми надрешіток. Енергетичний спектр електронів в надрешітках. Властивості електронного газу в надрешітках. Пристрої на основі надрешіток (ІК-фотоприймачі, лазерні структури, квантові каскадні лазери).

Тема 6. Одноелектронне тунелювання. Спінтроніка.

Одноелектронне тунелювання. Кулонівська блокада тунелювання. Кулонівська блокада в структурах з двома тунельними переходами. Металевий одноелектронний транзистор. Спін. Рух частинки в однорідному магнітному полі. Спінтроніка. Ефект гігантського магнітощеплення. Тунельний магнітоопір.

Тема 7. Напівпровідникова спінтроніка. Базові положення молекулярної електроніки.

Напівпровідникова спінтроніка. Спіновий польовий транзистор. Елементи пам'яті на магнітних моментах ядер. Молекулярна електроніка. Молекули-провідники і молекули-ізолятори. Молекули-діоди. Молекули-транзистори. Молекулярні елементи пам'яті. Молекулярні інтегральні мікросхеми.

Тема 8. Нанотехнологічні інструменти в електроніці. Зондові нанотехнології.

Два підходи до виготовлення структур в нанотехнологіях. Епітаксціальні методи отримання наноструктур. Нанолітографія. Зондові нанотехнології. Вуглецеві нанотрубки. Формування квантових точок і дротин. Контакти до окремих молекул. Лінійна міра для вимірювань за допомогою електронних і атомно-силових мікроскопів.

2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Структура навчальної дисципліни.

№ п/п	Назва теми	Обсяг навчальних занять (год.)							
		Денна форма навчання				Заочна форма навчання			
		Усього	Лекції	Практ. заняття	СРС	Усього	Лекції	Практ. заняття	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 семестр									
Модуль №1. «Фізичні основи мікро- та наноелектроніки»									
1.1	Сучасний етап розвитку наноелектроніки.	8	2	2	4				
1.2	Технічні та наукові передумови переходу від мікроелектроніки до наноелектроніки.	8	2	2	4				
1.3	Основні положення квантової механіки.	8	2	2	4				
1.4	Квантові основи наноелектроніки.	10	2	2	4				



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				2					
1.5	Енергетична модель атома.	8	2	2	4				
1.6	Взаємодія атомів в кристалі.	10	2	2	6				
1.7	Утворення зонного енергетичного спектру кристала.	8	2	2	4				
1.8	Напівпровідниковий перехід як основний компонент наноелектроніки.	10	2	2	6				
1.9	Основні квантовомеханічні характеристики тіл.	10	2	2	6				
1.10	Модульна контрольна робота №1	10	2	-	8				
Усього за модулем №1		90	20	20	50				
Модуль №2. “ Статистичні закономірності руху заряджених частинок ”									
2.1	Розподіл концентрації домішок та вільних носіїв заряду поблизу р–n-переходу.	10	2	2	6				
2.2	Транзистор як основа мікроелектронного приладу.	12	2	2 2	6				
2.3	Енергетичний спектр наноструктур. Квантоворозмірні ефекти.	10	2	2	6				
2.4	Квантова яма, квантова дротина, квантова точка.	10	2	2	6				
2.5	Енергетичний спектр електронів в надрешітках. Резонансний тунельний ефект.	10	2	2	6				
2.6	Одноелектронне тунелювання. Спінтроніка.	10	2	2	6				
2.7	Напівпровідникова спінтроніка. Базові положення молекулярної електроніки.	10	2	2	6				
2.8	Нанотехнологічні інструменти в електроніці. Зондові нанотехнології.	10	2	2	6				
2.9	Модульна контрольна робота №2	8	2	-	6				
Усього за модулем №2		90	18	18	54				
Усього за семестр		180	38	38	104				
Усього за навчальною дисципліною		180	38	38	104				

3. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ

3.1. Методи навчання

При вивченні навчальної дисципліни використовуються наступні методи навчання:

- пояснювально-ілюстративний метод;
- метод проблемного викладання;
- репродуктивний метод;
- дослідницький метод.

Реалізація цих методів здійснюється при проведенні лекцій, демонстрацій, самостійному вирішенні задач, роботі з навчальною літературою для опанування фундаментальних, загально технічних і професійних основ спеціальності за напрямом «Мікро- та наносистемна техніка», специфіки майбутньої роботи випускника.



3.2. Рекомендована література

Базова література

- 3.2.1. Фізика наноструктур. М.О. Боровий, М.Ю.Барабаш, Ю.А.Куницький, Т.Л. Цареградська/ Вид-во Інституту металофізики НАН України, Київ, 2012.– 98 с.
- 3.2.2. Находкін М.Г., Шека Д.І. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки: Підручник. – К.: Вид-во “Київський університет”, 2005. – 431 с.
- 3.2.3. Дмитрук І.М. Електронні процеси в наноструктурах. – 2013. – 211 с.
- 3.2.4. Покропивний В.В., Поперенко Л.В. Фізика наноструктур. Навчальний посібник. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2008. – 199 с.
- 3.2.54. Заячук, Д. М. Нанотехнології і наноструктури : навчальний посібник / Д. М. Заячук ; МОН України, НУ "Львівська політехніка". - Л. : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2009. - 580 с.

Допоміжна література

- 3.2.6. Брусенцов В.А., Куліш М.П., Дмитренко О.П., Грабовський Ю.Є., Момот А.І., Оласюк О.П., Пундик І.П. Фізика наноструктур. – ЦП “КОМПРИНТ”, 2014, 59с.
- 3.2.7. АЛ.Шпак, Ю.А. Куницький, О.О. Коротченков, С.Ю. Смик. Квантові низькорозмірні системи – К. Академперіодика, 2003.- 312 с...
- 3.2.8. Завражна О. М. Основи нанотехнологій : навчально-методичний посібник для вчителів та студентів педагогічних університетів / О. М. Завражна, О. О. Пасько, А. І. Салтикова. – Суми : Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 184 с..
- 3.2.9. Осадчук, В. С. Фізична наноелектроніка : навчальний посібник / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук ; ВНТУ. - Вінниця : ВНТУ, 2015. - 146 с.

3.3. Інформаційні ресурси в Інтернеті

- 3.3.1 <http://kafelec.nau.edu.ua/materialu12-ukr.html>
- 3.3.2. <http://chitalnya.nung.edu.ua/osnovi-cifrovoyi-tehniki.html>



4. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ НАБУТИХ СТУДЕНТОМ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ

4.1. Оцінювання окремих видів виконаної студентом навчальної роботи здійснюється в балах відповідно до табл.4.1.

Таблиця 4.1

	Максимальна кількість балів		Заочна форма навчання
	Денна форма навчання		
Вид навчальної роботи	2 семестр		
	Модуль №1	Модуль №2	
Виконання завдань на практичних заняттях	35	35	
<i>Для допуску до виконання модульної контрольної роботи студент має набрати не менше</i>	<i>21 бали</i>	<i>21 бали</i>	
Виконання модульної контрольної роботи	15	15	
Усього за модулем	50	50	
Усього за дисципліною	100		

4.2. Виконані види навчальної роботи зараховуються студенту, якщо він отримав за них позитивну рейтингову оцінку.

Залікова рейтингова оцінка визначається (в балах та за національною шкалою) за результатами виконання всіх видів навчальної роботи протягом семестру.

4.3. Сума рейтингових оцінок, отриманих студентом за окремі види виконаної навчальної роботи, становить поточну модульну рейтингову оцінку, яка заноситься до відомості модульного контролю.

4.4. Сума поточної та контрольної модульних рейтингових оцінок становить підсумкову модульну рейтингову оцінку, яка в балах та за національною шкалою заноситься до відомості модульного контролю.

4.5. Підсумкова семестрова рейтингова оцінка в балах, за національною шкалою та шкалою ECTS заноситься до заліково-екзаменаційної відомості, навчальної картки та залікової книжки студента.

4.6. Підсумкова семестрова рейтингова оцінка заноситься до залікової книжки та навчальної картки студента, наприклад, так: **92/Відм./А, 87/Добре/В, 79/Добре/С, 68/Задов./D, 65/Задов./Е** тощо.

4.7. Підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни, яка викладається протягом одного семестру, дорівнює підсумковій семестровій рейтинговій оцінці.

Зазначена підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни заноситься до Додатку до диплома.



(Ф 03.02 – 01)

АРКУШ ПОШИРЕННЯ ДОКУМЕНТА

№ прим.	Куди передано (підрозділ)	Дата видачі	П.І.Б. отримувача	Підпис отримувача	Примітки

(Ф 03.02 – 02)

АРКУШ ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ДОКУМЕНТОМ

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Підпис ознайомленої особи	Дата ознайомлення	Примітки

(Ф 03.02 – 04)

АРКУШ РЕЄСТРАЦІЇ РЕВІЗІЇ

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Дата ревізії	Підпис	Висновок щодо адекватності

(Ф 03.02 – 03)

АРКУШ ОБЛІКУ ЗМІН

№ зміни	№ листа (сторінки)				Підпис особи, яка внесла зміну	Дата внесення зміни	Дата введення зміни
	Зміненого	Заміненого	Нового	Анульованого			

(Ф 03.02 – 32)

УЗГОДЖЕННЯ ЗМІН

	Підпис	Ініціали, прізвище	Посада	Дата
Розробник				
Узгоджено				
Узгоджено				
Узгоджено				