



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи

Підпис

В.Л. Шаран

ініціали та прізвище

15 травня 2018 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

НАНОТЕХНОЛОГІЇ В ЕЛЕКТРОНІЦІ

Назва

Галузь знань 10 Природничі науки

Шифр

Назва

Спеціальність 104 Фізика та астрономія

Шифр

Назва

Статус дисципліни Нормативна

Нормативна (вибіркова)

Навчально-науковий інститут фізики, математики, економіки та інноваційних технологій

Кафедра фізики

Дані про вивчення дисципліни

| Форма навчання | Курс | Семестр | Загальний обсяг дисципліни | Кількість годин | | | | | | Курсова робота | Вид семестрового контролю | |
|----------------|------|---------|----------------------------|-------------------|--------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------------|---------|
| | | | | Аудиторні заняття | | | | | Самостійна робота | | Залік | Екзамен |
| | | | Кредити ЕКТС | Разом | Лекції | Лабораторні роботи | Практичні заняття | Семінарські заняття | | | | |
| Денна | II | 3 | 120 год / 4 | 48 | 16 | – | 32 | – | 72 | – | – | + |
| Заочна | II | 3 | 120 год / 4 | 12 | 4 | – | 8 | – | 108 | – | – | + |

Робоча програма складена на основі освітньої програми та навчального плану підготовки докторів філософії.

Ступінь вищої освіти

Розробник:

Підпис

Р.М. Пелешак, доктор фізико-математичних наук, професор

Ініціали та прізвище викладача, науковий ступінь та вчене звання

Схвалено на засіданні кафедри фізики.

Протокол № 4 від 23 04 2018 р.

Завідувач кафедри

Підпис

Р.М. Пелешак

Ініціали та прізвище

Схвалено на засіданні науково-методичної ради навчально-наукового інституту фізики, математики, економіки та інноваційних технологій.

Протокол № 4 від 26 04 2018 р.

Схвалено на засіданні науково-методичної ради університету.

Протокол № 5 від 15 05 2018 р.

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета: сформувати в аспірантів знання про технологію отримання наногетеросистем, будову та принцип роботи сучасних електронних приладів на основі наноматеріалів.

Предмет: електронні прилади на основі наногетеросистем.

Завдання:

- ознайомити аспірантів з технологією отримання та перспективами практичного застосування низькорозмірних наногетеросистем;
- сформувати знання про будову та принцип роботи сучасних оптонаноелектронних приладів;
- формувати в аспірантів сучасний науковий світогляд, уміння розв'язувати теоретичні, методологічні, світоглядні задачі сучасної науки.

Заплановані результати навчання. У результаті вивчення цієї навчальної дисципліни аспіранти повинні

знати:

- класифікацію наногетеросистем та їхні фізичні властивості;
- основні технологічні методи одержання квантових шарів, нанониток, квантових точок та надграток;
- експериментальні методики дослідження наногетеросистем;
- будову та принцип роботи сучасних електронних приладів;

вміти:

- аналізувати технології отримання низькорозмірних наносистем;
- оперувати методами фізики наносистем, застосовувати методики аналізу нанорозмірних структур;
- аналізувати можливості практичного застосування напівпровідникових квантових структур і надграток в опто-, мікро-, наноелектроніці та сучасних технологіях.

Місце дисципліни у структурно-логічній схемі підготовки фахівців.

Дисципліна “Нанотехнології в електроніці” вивчається після таких дисциплін: “Математичний аналіз”, “Загальна фізика”, “Теоретична фізика”, “Основи сучасної електроніки”, “Математичні методи фізики”, “Моделювання фізичних процесів”, “Фізика напівпровідників та діелектриків”, “Основи фізики твердого тіла”, “Експериментальні методи дослідження напівпровідників”.

Зміст дисципліни.

Сучасні технології отримання наноструктур.

Основи опто- та наноелектроніки.

Інтегральна оптика. Магнітна наноелектроніка.

2. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| Назва теми | Кількість годин | | | | | | | |
|---|----------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|
| | Денна форма навчання | | | | Заочна форма навчання | | | |
| | Лекції | Лабораторні заняття | Практичні (семін.) заняття | Самостійна робота | Лекції | Лабораторні заняття | Практичні (семін.) заняття | Самостійна робота |
| 3 семестр | | | | | | | | |
| Тема 1. Сучасні технології отримання наноструктур. | 6 | | 12 | 22 | 2 | | 4 | 34 |
| Тема 2. Основи опто- та наноелектроніки. | 6 | | 10 | 22 | 1 | | 2 | 36 |
| Тема 3. Інтегральна оптика. Магнітна наноелектроніка. | 4 | | 10 | 28 | 1 | | 2 | 38 |
| Разом за 3 семестр | 16 | | 32 | 72 | 4 | | 8 | 108 |

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст лекційного курсу для аспірантів денної форми навчання 3 семестр

| № з/п | Перелік тем лекцій, їх анотації | Кількість годин |
|-------|--|-----------------|
| 1. | Структура та властивості наносистем. 1.1. Розмірні ефекти. Тривимірні, двовимірні, одновимірні та нульвимірні системи. 1.2. Властивості нанокластерів. 1.2.1. Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів. 1.2.2. Структура нанокластерів. 1.2.3. Період ґратки нанокластерів. 1.2.4. Оптичні, механічні, електричні та магнітні властивості нанокластерів. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [3]. | 2 |
| 2. | Основи нанотехнології напівпровідників. 2.1. Нанолітографія. 2.2. Епітаксійні методи формування наноструктур. 2.3. Зондові методи створення наноструктур. 2.4. Самоорганізація структур у нанотехнологіях. 2.5. Напівпровідникові гетероструктури. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [3]; [4]. | 2 |
| 3. | Основи оптоелектроніки. 3.1. Класифікація оптоелектронних пристроїв та фізичні процеси в них. 3.2. Фоторезистори. 3.3. Фотодіоди. 3.4. Фототранзистори. 3.5. Фототиристори. 3.6. Світловипромінювальні діоди. 3.7. Оптопари. Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [9]; [10]; допоміжна: [12]. | 4 |
| 4. | Основи наноелектроніки. 4.1. Оптоелектронні інтегральні мікросхеми. 4.2. Модель діелектричного хвилеводу. 4.3. Оптичні відгалужувачі. 4.4. Фотоприймальні пристрої ОЕ ІМС. 4.4.1. Тонкоплівкові модулятори. 4.4.2. Акустооптичні керуючі пристрої. | 2 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| | <p>4.4.3. Оптоелектронні запам'ятовуючі пристрої.</p> <p>4.4.4. Електрооптичні дефлектори.</p> <p>4.4.5. Акустичні дефлектори.</p> <p>4.5. Застосування структур метал – діелектрик – напівпровідник (МДН) в інтегральній оптиці.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [9] – [11]; допоміжна: [14]; [15]; [18].</p> | |
| 5. | <p>Інтегральна оптика.</p> <p>5.1. Біполярні транзистори на гетеропереходах.</p> <p>5.2. Польові гетеротранзистори.</p> <p>5.3. Транзистори на гарячих електронах.</p> <p>5.4. Прилади на резонансно-тунельному ефекті.</p> <p>5.4.1. Резонансно-тунельні діоди.</p> <p>5.4.2. Резонансно-тунельні транзистори.</p> <p>5.5. Одноелектронні транзистори.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [9]; [10]; допоміжна: [12].</p> | 4 |
| 6. | <p>Прилади на нанотрубках. Магнітна наноелектроніка.</p> <p>6.1. Прилади на нанотрубках.</p> <p>6.2. Магнітна наноелектроніка.</p> <p>6.2.1. Спінтроніка.</p> <p>6.2.2. Зчитувальна головка на гігантському магнітоопорі.</p> <p>6.2.3. Енергонезалежна пам'ять на тунельному магнітоопорі.</p> <p>6.2.4. Спін-вентильний транзистор.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [2]; [9].</p> | 2 |
| | Разом за 3 семестр: | 16 |

Зміст лекційного курсу для аспірантів заочної форми навчання 3 семестр

| № з/п | Перелік тем лекцій, їх анотації | Кількість годин |
|-----------|--|-----------------|
| 1. | <p>Структура та властивості наносистем.</p> <p>1.1. Розмірні ефекти. Тривимірні, двовимірні, одновимірні та нульвимірні системи.</p> <p>1.2. Властивості нанокластерів.</p> <p>1.2.1. Хвильові властивості та енергетичний спектр електронів.</p> <p>1.2.2. Структура нанокластерів.</p> <p>1.2.3. Період ґратки нанокластерів.</p> | 1 |

| | | |
|-----------|---|----------|
| | <p>1.2.4. Оптичні, механічні, електричні та магнітні властивості нанокластерів.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [3].</p> | |
| 2. | <p>Основи нанотехнології напівпровідників.</p> <p>2.1. Нанолітографія.</p> <p>2.2. Епітаксійні методи формування наноструктур.</p> <p>2.3. Зондові методи створення наноструктур.</p> <p>2.4. Самоорганізація структур у нанотехнологіях.</p> <p>2.5. Напівпровідникові гетероструктури.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [1]; [3]; [4].</p> | 1 |
| 3. | <p>Основи оптоелектроніки.</p> <p>3.1. Класифікація оптоелектронних пристроїв та фізичні процеси в них.</p> <p>3.2. Фоторезистори.</p> <p>3.3. Фотодіоди.</p> <p>3.4. Фототранзистори.</p> <p>3.5. Фототиристори.</p> <p>3.6. Світловипромінювальні діоди.</p> <p>3.7. Оптипари.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [9]; [10]; допоміжна: [12].</p> | 1 |
| 4. | <p>Інтегральна оптика.</p> <p>5.1. Біполярні транзистори на гетеропереходах.</p> <p>5.2. Польові гетеротранзистори.</p> <p>5.3. Транзистори на гарячих електронах.</p> <p>5.4. Прилади на резонансно-тунельному ефекті.</p> <p>5.4.1. Резонансно-тунельні діоди.</p> <p>5.4.2. Резонансно-тунельні транзистори.</p> <p>5.5. Одноелектронні транзистори.</p> <p>Посилання на літературні джерела, дидактичні матеріали: основна [9]; [10]; допоміжна: [12].</p> | 1 |
| | Разом за 3 семестр: | 4 |

**Перелік практичних занять
для аспірантів денної форми навчання
3 семестр**

| № з/п | Тема практичного заняття | Кількість годин |
|----------------------------|--|-----------------|
| 1. | Твердотільні гетероструктури. Розмірне квантування і квантоворозмірні структури. Літературні джерела: основна [5], [8], [10]; додаткова [1], [3]. | 2 |
| 2. | Фізичні властивості наноструктур. Літературні джерела: основна [2], [3], [6]; додаткова [3]. | 2 |
| 3. | Сучасні технології вирощування наноструктур. Літературні джерела: основна [2], [5], [10]; додаткова [1], [8]. | 4 |
| 4. | Матеріали наноелектроніки. Літературні джерела: основна [3], [5], [8]; додаткова [6]. | 2 |
| 5. | Елементи і прилади наноелектроніки. Літературні джерела: основна [4], [15], [17]; додаткова [7]. | 4 |
| 6. | Прикладне застосування наноструктур на сучасному етапі їхнього розвитку. Літературні джерела: основна [1], [4], [15]; додаткова [5]. | 2 |
| Разом за 3 семестр: | | 16 |

**Перелік практичних занять
для аспірантів заочної форми навчання
3 семестр**

| № з/п | Тема практичного заняття | Кількість годин |
|----------------------------|--|-----------------|
| 1. | Твердотільні гетероструктури. Розмірне квантування і квантоворозмірні структури. Літературні джерела: основна [5], [8], [10]; додаткова [1], [3]. | 1 |
| 2. | Фізичні властивості наноструктур. Літературні джерела: основна [2], [3], [6]; додаткова [3]. | 1 |
| 3. | Сучасні технології вирощування наноструктур. Літературні джерела: основна [2], [5], [10]; додаткова [1], [8]. | 2 |
| 4. | Матеріали наноелектроніки. Літературні джерела: основна [3], [5], [8]; додаткова [6]. | 2 |
| 5. | Елементи і прилади наноелектроніки. Літературні джерела: основна [4], [15], [17]; додаткова [7]. | 1 |
| 6. | Прикладне застосування наноструктур на сучасному етапі їхнього розвитку. Літературні джерела: основна [1], [4], [15]; додаткова [5]. | 1 |
| Разом за 3 семестр: | | 8 |

Зміст самостійної (індивідуальної) роботи

| Номер тижня | Зміст самостійної (індивідуальної) роботи | Кількість годин |
|----------------------------|--|-----------------|
| 1 – 2. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 1, отримання теми індивідуального завдання (ІЗ) | 12 |
| 3 – 4. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 2, робота над ІЗ | 14 |
| 5 – 6. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 3, робота над ІЗ, підготовка до контрольної роботи № 1 | 14 |
| 7 – 8. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 4, робота над ІЗ | 12 |
| 9 – 10. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 5, робота над ІЗ | 14 |
| 11 – 12. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 6, підготовка до контрольної роботи № 2 | 14 |
| 13 – 14. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 7, підготовка до захисту ІЗ | 14 |
| 15 – 16. | Опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до практичного заняття № 8, підготовка до контрольної роботи № 3 | 14 |
| Разом за 3 семестр: | | 108 |

4. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання (ІЗ) – це частина навчального матеріалу з дисципліни, що має на меті поглибити, узагальнити та закріпити знання, отримані аспірантами у процесі навчання, а також застосування цих знань на практиці.

Звіт про виконання ІЗ повинен містити титульну сторінку (згідно зразка) та змістове наповнення до 10 аркушів. Звіт про виконання ІЗ – це завершена робота теоретичного характеру, яка містить систематизований чітко викладений матеріал за обраною темою на основі спеціально підібраної літератури. ІЗ подається викладачу не пізніше, ніж за два тижні до екзамену.

Критерії оцінювання індивідуального завдання: повнота розкриття теми у роботі – 16 балів, якість мовного оформлення – 2 бали, якість бібліографічного опису – 2 бали.

Теми індивідуальних завдань:

1. Електрон-фононна взаємодія у квантових точках.
2. Комбінаційне розсіювання світла за участю акустичних фононів у квантових точках.
3. Механізми внутрізонної релаксації енергії носіїв заряду в квантових точках.
4. Ефекти деполяризації в квантових ямах.
5. Анізотропія діелектричної проникності та подвійне променезаломлення у системах з квантовими ямами.
6. Вплив зовнішнього електричного поля на спектр міжзонного поглинання квантових ям і квантових ниток.
7. Вплив зовнішнього електричного поля на спектр внутрізонного поглинання квантових ям і квантових ниток.
8. Фотойонізація квантових ям.
9. Вплив матеріалу, з якого виготовлені квантові точки, на енергетичний спектр їх електронної підсистеми.
10. Роль деформаційних ефектів у формуванні енергетичного спектру електронної підсистеми квантових точок.
11. Модель акустичних фононів у системі квантова точка – матриця.
12. Оптична спектроскопія резонансного безвипромінювального перенесення енергії фотозбуджень у квантових точках.
13. Наномагнітні матеріали і магнітоелектроніка.
14. Оптрони.
15. Оптична обробка інформації.

5. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

З метою активізації навчально-пізнавальної діяльності аспірантів при вивченні дисципліни “Нанотехнології в електроніці” на лекційних та практичних заняттях використовуються наступні методи навчання: словесні (пояснення, бесіда, проблемна лекція), наочні (ілюстрація, демонстрація, спостереження), практичні (розв’язування задач та творчих завдань, проведення експериментальних досліджень).

6. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Засвоєння аспірантами матеріалу з дисципліни перевіряється контрольними роботами та виконанням індивідуального завдання. Також аспіранти повинні бути готовими до експрес-контролю на практичних заняттях (фронтальне опитування, співбесіда, письмовий тест). Поточний контроль знань здійснюється з метою перевірки рівня підготовленості аспіранта до

практичного заняття та рівня засвоєння ним навчального матеріалу. Вивчення дисципліни завершується екзаменом.

Екзаменаційний контроль знань проводиться протягом терміну, визначеного навчальним графіком для складання екзаменів, у вигляді письмового виконання завдань та співбесіди з викладачем. Екзаменаційні завдання охоплюють весь програмний матеріал дисципліни “Нанотехнології в електроніці”.

Сумарна кількість балів з дисципліни визначається як сума балів з усіх видів навчальної роботи і виставляється за трьома шкалами оцінювання: стобальною, національною і ЄКТС.

Екзамен за талонами № 2 і К проводиться в письмовій формі з оцінюванням за стобальною шкалою. Завдання охоплюють весь програмний матеріал даної навчальної дисципліни.

Контрольні роботи, окрім тестових завдань, обов’язково передбачають теоретичні дослідження та вміння аспіранта застосовувати теоретичні знання для розв’язування прикладних задач. У контрольній роботі зазначається кількість балів за правильне виконання кожного з її завдань з урахуванням їх складності, обсягу та значущості в засвоєнні дисципліни.

7. ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

| Поточний контроль та самостійна робота | | | | Сума $S_{\text{пот}}$ | Екзамен $S_{\text{підс}}$ |
|--|--------|--------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Контрольні роботи (КР) | | | Індивідуальне завдання | | |
| Тема 1 | Тема 2 | Тема 3 | | | |
| КР 1 | КР 2 | КР 3 | | | |
| 20 | 30 | 30 | 20 | 100 | 100 |
| Ваговий коефіцієнт | | | | 0,6 | 0,4 |

Сумарна кількість балів з дисципліни визначається за формулою:

$$S_{\text{сум}} = 0,6 \cdot S_{\text{пот}} + 0,4 \cdot S_{\text{підс}}.$$

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Авдеева Л.Ю. Наноразмерные системы и наноматериалы: исследования в Украине / Л.Ю. Авдеева, Е.А. Авраменко, Е.В. Аксененко. – Киев : Академперіодика, 2014. – 766 с.
2. Богуслаев В.А. Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для студентов вузов / В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, Н.Е. Калинина. – Запорожье : Мотор Сич, 2014. – 207 с.
3. Назаров О.М. Наноструктури і нанотехнології / О.М. Назаров, М.М. Нищенко. – Київ : НАУ, 2012. – 248 с.
4. Пелешак Р.М. Модуляція напрямку випромінювання гетеролазера з квантовими точками InAs під впливом акустичної хвилі / Р.М. Пелешак, О.О. Даньків, О.В. Кузик // Український фізичний журнал. – 2012. – Т. 57. – № 1. – С. 71 – 75.
5. Пелешак Р.М. Частотна модуляція рекомбінаційного випромінювання гетероструктури InAs/GaAs з квантовими точками InAs під впливом акустичної хвилі / Р.М. Пелешак, О.О. Даньків, О.В. Кузик // Український фізичний журнал. – 2011. – Т. 56. – № 4. – С. 346 – 353.
6. Пелешак Р.М. Моделювання вольт-амперних характеристик структури метал – $i - n^+$ із самоорганізованими нанокластерами / Р.М. Пелешак, О.О. Даньків, О.В. Кузик // Фізичний збірник НТШ. – 2011. – Т. 8. – С. 361 – 372.
7. Поплавко Ю.М. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності. / Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, В.І. Ільченко, Ю.І. Якименко. – К. : НТУУ “КПІ”, 2010. – 160 с.
8. Погосов В.В. Елементи фізики поверхні, наноструктур і технологій / В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2010. – 365 с.
9. Проценко І.Ю. Основи матеріалознавства наноелектроніки : навчальний посібник / І.Ю. Проценко, Н.І. Шумакова. – Суми : Видавництво СумДУ, 2004. – 108 с.
10. Однодворець Л.В. Основи оптоелектроніки. Конспект лекцій / Л.В. Однодворець. – Суми : Видавництво СумДУ, 2010. – 44 с.
11. Рамбиди Н.Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры / Н.Г. Рамбиди. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.

Допоміжна

12. Дубровский В. Г. Зависимость структурных и оптических свойств ансамблей квантовых точек в системе InAs/GaAs от температуры

поверхности и скорости роста / В. Г. Дубровский, Ю. Г. Мусихин, Г. Э. Цырлин // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38. – № 3. – С. 342 – 348.

13. Пелешак Р.М. Формування періодичних дефектних структур у напівпровідниках під впливом акустичної хвилі / Р.М. Пелешак, О.О. Даньків, О.В. Кузик // Журнал фізичних досліджень. – 2011. – Т. 15. – № 3. – С. 3602 (4 с.).
14. Пул Ч. Нанотехнология / Ч. Пул, Ф. Оуэне. – М. : Техносфера, 2004. – 352 с.
15. Han K.-S. Fabrication of 3D nano-structures using reverse imprint lithography / Kang-Soo Han, Sung-Hoon Hong, Kang-In Kim // Nanotechnology. – 2013. – V. 24. – № 4. – P. 045304 (5).
16. Peleshchak R.M. Electric properties of the interface quantum dot – matrix / R.M. Peleshchak, I.Ya. Bachynsky // Condensed Matter Physics (Фізика конденсованих систем). – 2009. – V. 12. – № 2. – P. 215 – 223.
17. Mirzade F.Kh. Self-organization of nanometer periodic structures of clusters in solids / F.Kh. Mirzade, K.R. Alakverdiev, Z.Yu. Salaeva // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2008. – V. 8. – № 2. – P. 764 – 767.
18. Shchukin V.A. Spontaneous Ordering of Arrays of Coherent Strained Islands / V.A. Shchukin, N.N. Ledentsov, P.S. Kop'ev and D. Bimberg // Phys. Rev. Lett. – 1995. – V. 75. – № 16. – P. 2968 – 2971.
19. Wang Z.M. Persistence of (In, Ga)As quantum-dot chains under index deviation from GaAs(100) / Z.M. Wang, K. Holmes, Yu.I. Mazyr // Appl. Phys. Lett. – 2004. – V. 84. – № 23. – P. 1931 – 1934.