

Одеський національний університет імені І.І.Мечникова

Кафедра експериментальної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з науково-педагогічної роботи
О.В.Запорожченко
2020 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕХНОЛОГІЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий) рівень – доктор філософії

Галузь знань 10 – природничі науки

(шифр і назва)

Спеціальність 104 - фізика та астрономія

(шифр і назва)

Освітня програма фізика та астрономія

Вид дисципліни вибіркова

Факультет математики, фізики, та інформаційних технологій

(назва факультету)

2020 / 2021 навчальний рік


Програму рекомендовано до затвердження Вченою Радою факультету математики, фізики та інформаційних технологій «3» вересня 2020 року, Протокол №1

Розробники програми:

доктор фізико-математичних наук, професор Ніцук Ю.А.,

Програма затверджена на засіданні кафедри експериментальної фізики Протокол № 1 від “31” серпня 2020 року

Завідувач кафедри



(підпис)

Сминтина В.А.
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ:

Протокол № 1 від “ 3 ” вересня _____ 2020 року

Голова НМК



(підпис)

Ніцук Ю.А.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Технологія напівпровідникових матеріалів» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «Фізика та астрономія».

Освітньо-наукова програма: « Фізика та астрономія».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є: надати майбутнім докторам філософії з фізики та астрономії необхідного мінімуму попередніх відомостей з особливостей технології отримання напівпровідникових матеріалів для різних напрямів сучасної фізики.

Засвоєння фундаментальних фізичних складових, отримання практичних навичок, що здобуваються в межах дисципліни «Технологія напівпровідникових матеріалів» є умовою для подальшого засвоєння дисциплін за вибором з циклу професійної підготовки, успішного виконання експериментальної наукової роботи.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є: засвоєння аспірантами основ технології отримання об'ємних, тонкошарових та наноструктурованих напівпровідникових наноматеріалів та напівпровідникових структур. Інтегральна компетентність (ІК) - здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики. Загальні компетентності:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1),
- Здатність управління інформацією (пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел) (ЗК2),
- Здатність проведення самостійних досліджень (ЗК 9),

Фахові компетентності:

- Здатність застосовувати знання фізики напівпровідників для дослідження властивостей об'ємних та низько розмірних напівпровідників (ФК 4),
- Усвідомлення мети й завдань сучасної фізики та астрономії, здатність вирішувати проблеми й задачі інноваційного характеру в одній із галузей фізики або астрономії (ФК - 9).

1.3. Кількість кредитів 3

1.4. Загальна кількість годин 90

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни |
|---|
| Нормативна/ <u>за вибором</u> |
| Денна форма навчання |
| Рік підготовки |
| 2-й |
| Лекції |
| 16 год. |
| Практичні/семінарські |
| 14 год. |
| Лабораторні |
| - |
| Самостійна робота |
| 60 год. |
| У тому числі індивідуальні завдання |
| - |

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія»

спеціальності 104 – «Фізика та астрономія» аспіранти можуть досягти наступних результатів навчання:

- Володіти різноманітними методами одержання напівпровідникових матеріалів і структур; вміти здійснювати технологічні процеси одержання напівпровідникових структур для напівпровідникової сенсорики та фотоніки та визначати їх основні характеристики;
- Знати актуальні напрями наукових досліджень з фізики і астрономії та аналізувати історію розвитку фізики та астрономії в порівнянні з сучасною проблематикою науки;

2. Тематичний план навчальної дисципліни

2 рік

Розділ 1. Процеси одержання напівпровідникових кристалів

Тема 1. Основні напрями розвитку напівпровідникового матеріалознавства. Загальна характеристика чистоти матеріалів. Основні процеси очистки напівпровідникових матеріалів. Принципи очистки кристалізацією. Перегонка через газову фазу.

Тема 2. Основи технології вирощування напівпровідникових монокристалів. Одержання кристалів з твердої фази. Одержання кристалів з рідкої фази. Вирощування кристалів з розплаву. Метод зонної плавки. Одержання кристалів з газової фази. Легування кристалів в процесі вирощування.

Тема 3. Обробка вирощеного матеріалу. Механічна обробка напівпровідникових матеріалів. Різання зливків. Скрайбування та розламування пластин. Шліфування та полірування. Хімічна та електрохімічна обробка. Йонно-плазмова обробка.

Розділ 2. «Процеси одержання тонких напівпровідникових плівок. Створення п-р структур».

Тема 4. Одержання напівпровідникових плівок. Термічне розпилення у вакуумі. Напилення у квазізамкнутому об'ємі. Фотолітографія. Фоторезистори, критерії їх застосування.

Тема 5. Створення п-р структур. Контактна та проекційна оптична фотолітографія. Одержання р-п структур. Метод дифузії. Метод йонної імплантації.

Розділ 3. Одержання наноструктурованих матеріалів

Тема 6. Отримання напівпровідникових наночастинок. Методи колоїдного синтезу, спрей-піролізу, лазерної абляції.

Тема 7. Отримання поруватих структур. Електрохімічне травлення. Неелектролітичне травлення.

Тема 8. Методи дослідження нано- та об'ємних матеріалів. Оптичні і люмінесцентні методи. Електрофізичні методи.

3. Структура навчальної дисципліни

| Тема | Кількість годин | | | | | |
|---|-----------------|------|-----|------|------|----|
| | Усього | Лек. | Пр. | Лаб. | Інд. | СР |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Розділ 1. Процеси одержання напівпровідникових кристалів | | | | | | |
| 1.Основні напрями розвитку напівпровідникового матеріалознавства. | 2 | 2 | | - | - | 4 |

| | | | | | | |
|--|----|----|----|---|---|----|
| 2. Основи технології вирощування напівпровідникових монокристалів. | 2 | 2 | 2 | - | - | 8 |
| 3. Обробка вирощеного матеріалу. | 2 | 2 | 2 | - | - | 8 |
| Розділ 2. Процеси одержання тонких напівпровідникових плівок. Створення <i>n-p</i> структур | | | | | | |
| 4. Одержання напівпровідникових плівок. | | 2 | 2 | - | - | 8 |
| 5. Створення <i>n-p</i> структур. | | 2 | 2 | - | - | 8 |
| Розділ 3. Одержання наноструктурованих матеріалів | | | | | | |
| 6. Отримання напівпровідникових наночастинок. | | | 2 | - | - | 8 |
| 7. Отримання поруватих структур. | | | 2 | - | - | 8 |
| 8. Методи дослідження нано- та об'ємних матеріалів. | | | 2 | - | - | 8 |
| Усього годин | 90 | 16 | 14 | - | - | 60 |

4. Теми практичних занять

1. Одержання високого вакууму та підготовка підкладок і випаровувачів для наплення напівпровідникових шарів.
2. Одержання тонких плівок сульфїду цинку методом термічного наплення у вакуумі.
3. Нанесення контактів на плівки ZnS методом катодного розпилення.
4. Одержання напівпровідникових шарів методом електродинамічної пульверизації.
5. Вивчення електричних та фотоелектричних характеристик одержаних зразків.
6. Способи отримання напівпровідникових наночастинок.
7. Способи отримання поруватих структур.
8. Дослідження морфології наноструктур за допомогою скануючого електронного мікроскопу.

5. Завдання для самостійної роботи

1. Рентгено-структурні дослідження якості монокристалів.
2. Методи визначення концентрації носіїв та домішок в напівпровідниках.
3. Оптичні методи дослідження наноструктур.

6. Індивідуальні завдання

1. Визначення розподілу концентрації домішок в монокристалах оптичними та люмінесцентними методами.
2. Визначення квантово-розмірного ефекту за спектрами фотолюмінесценції та поглинання.
3. Визначення розміру наночастинок в наближенні ефективних мас.

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод

або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

8. Методи контролю

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів можуть бути поточний контроль: конспект з лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; домашні завдання. Підсумковий семестровий контроль (залік). Підсумкові бали для оцінки знань студентів за розділ розраховуються таким чином:

| № | Вид роботи | Форма контролю | Число балів |
|----|-------------------------|----------------|-------------|
| 1. | Відвідування лекцій | Конспект | 5 |
| 2. | Активність на семінарах | | 3 |
| 3. | Сумма | | 8 |

9. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання | | | | Залікова робота | Сума | | | |
|--|----|----|--|-----------------|------|------------------------|-------|-----|
| Розділ 1 | | | Контрольна робота, передбачена навчальним планом | | | Індивідуальні завдання | Разом | |
| T1 | T2 | T3 | | | | | | |
| 8 | 8 | 8 | | | 16 | 40 | 60 | 100 |
| Розділ 2 | | | | | | | | |
| T1 | T2 | | | | | | | |
| 8 | 8 | | | | 24 | 40 | 60 | 100 |
| Розділ 3 | | | | | | | | |
| T1 | T2 | T3 | | | | | | |
| 8 | 8 | 8 | | | 16 | 40 | 60 | 100 |

9. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (залік) проводиться у письмовій формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 30 бальною шкалою

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 30 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 25 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 26 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 20 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Кількість балів, що аспірант отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю

за шкалою, що наведена нижче.

Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | | |
|--|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| | За шкалою ЄКТС | для чотирирівневої шкали оцінювання | для дворівневої шкали оцінювання |
| 90 – 100 | A | відмінно | зараховано |
| 85-89 | B | добре | |
| 75-84 | C | | |
| 70-74 | D | | |
| 60-69 | E | задовільно | не зараховано |
| 35-59 | FX | незадовільно | |
| 1-34 | F | | |

10. Рекомендована література Перелік навчально-методичної літератури

1. Основна література

1. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. – М.: Высшая школа. - 1983.
2. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов – М: Высшая школа. - 1984.
3. Фрейк Д.М., Галушак М.А., Межиловская А.И. Физики и технология полупроводниковых плёнок. - К. : Выща школа.-1985.
4. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. – М.: Высшая школа. – 1986.
5. Charles P. Poole Jr., Frank J. Owens. Introduction to Nanotechnology: Wiley-Interscience, 2003.- 400 p.
6. Ткач О.П. Наноматеріали і нанотехнології у приладобудуванні: Уч. пос. – С.: Сумський державний університет, 2014. – 127 с.

2. Додаткова література

7. Булкин А.Д., Якивчик Н.И. Технология и оборудование производства силовых полупроводниковых приборов. М.: Энергоатомиздат. - 1984.
8. Процессы роста и выращивания монокристаллов. Под ред. - М.: Издательство иностранной литературы. - 1965.
9. Чопра К., Дас С. Тонкоплёночные солнечные элементы. – М.: Мир. – 1986.
10. Бубнов Ю.З., Лурье М.С., Старос Ф.Г., Филаретов Г.А. Вакуумное нанесение плёнок в квазизамкнутом объёме. – М.: Советское радио. – 1975.
11. Остробородова В.В. Основы технологии и материаловедения полупроводников. М.: Издательство МГУ. – 1988.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. https://radfiz.org.ua/files/k4/medu/s8_info/s8_microelEdx.org
2. <https://library.kre.dp.ua/Books/2-4%20kurs/>
3. <https://www.ferra.ru/review/techlife/semiconductor-technology-part-1.htm>