

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теоретической физики и нанотехнологий



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научно-методической
и учебной работе

Е.И. Скафа

28 апреля 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физика гетероэпитаксиальных наноструктур

Направление подготовки: 28.03.03 Наноматериалы

Профиль подготовки:

Образовательная программа: бакалавриат

Квалификация: академический бакалавр

Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная

Донецк 2020

УТВЕРЖДАЮ:

Декан физико-технического факультета

С.А.Фоменко



Программа учебной дисциплины «Физика гетерозепитаксиальных наноструктур» составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ГОС ВПО) Донецкой Народной Республики (ДНР) по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР от 28 сентября 2016 г. № 987; Порядка организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР № 1171 от «10» ноября 2017 г.; учебного плана и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 28.03.03 Наноматериалы, разработанных в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Разработчик:
Профессор кафедры
теоретической физики и нанотехнологий



Н.П.Иваницын

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий
Протокол №15 от «02» апреля 2020 г.
Заведующий кафедрой



В.Н.Варюхин

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-технического факультета
Протокол № 5 от «15» апреля 2020 г.

Председатель учебно-методической
комиссии факультета



В.Н.Котенко

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

«Физика гетероэпитаксиальных наноструктур» является дисциплиной вариативной части Профессиоального Блока по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения предметов «Материалы и методы нанотехнологий», «Физика атома и атомного ядра», «Методы матфизики», «Кристаллография», «Электронная микроскопия», «Материалы и методы нанотехнологий», «Физика твердого тела» на предыдущем уровне образования. Полученные знания используются студентами во время выполнения учебной и производственной практики, при написании выпускной квалификационной работы.

2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Характеристика учебной дисциплины</i>		
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы	
Профиль		
Образовательная программа	бакалавриат	
Квалификация	академический бакалавр	
Количество содержательных модулей	2	
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы	дисциплина вариативной части	
Формы контроля (МК, экзамен, зачет)	МК, зачет	
Показатели	очная форма обучения	заочная форма обучения
Количество зачетных единиц (кредитов)	4	4
Год подготовки	4	4
Семестр	8	
Количество часов	144	144
- лекционных	20	4
- практических, семинарских	40	8
- лабораторных		
- самостоятельной работы	84	132
в т.ч. индивидуальное задание		
Недельное количество часов,	6	12
в т.ч. аудиторных	6	12

3. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели и задачи

Цель - формирование у студентов знаний по технологии создания наноструктур различного типа, включая основы методов молекулярно-лучевой эпитаксии, газофазной эпитаксии, литографии и высокотемпературного синтеза нанокристаллов в диэлектрических средах.

Задача – формирование знаний в области технологий создания наноструктур и изучения их свойств.

Требования к результатам освоения дисциплины. Процесс изучения дисциплины «Физика гетероэпитаксиальных наноструктур» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО ДНР по направлению подготовки

28.03.03 Наноматериалы и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 28.03.03 Наноматериалы.

а) общекультурных (ОК):

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

способностью к культурному мышлению, к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-10);

б) общепрофессиональных (ОПК):

способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке) (ОПК-1);

способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2);

способность применять основы методов исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств наноматериалов и наносистем неорганической и органической природы, в твердом, жидком, гелеобразном, аэрозольном состоянии, включая нанопленки и наноструктурированные покрытия, внутренние и внешние границы раздела фаз, а также физических и химических процессов в них или с их участием (ОПК-4);

в) профессиональных (ПК):

научно-исследовательская и проектная деятельность:

способность использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности в области материаловедения и технологии наноматериалов и наносистем (ПК-1);

способность использовать на практике современные представления наук о свойствах веществ и материалов при переходе их в наноразмерное состояние (ноль, одно и двухмерное), о влиянии размера на свойства веществ и материалов, взаимодействии наноматериалов и наносистем с окружающей средой (ПК-2);

научно-инновационная деятельность:

способность применять основные типы наноматериалов и наносистем неорганической (металлических и неметаллических) и органической (полимерных и углеродных) природы (твердых, жидких, гелеобразных, аэрозольных), включая нанопленки и наноструктурированные покрытия, для решения производственных задач, владением навыками выбора этих материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения (ПК-5);

способность применять навыки использования технических средств для измерения и контроля основных параметров технологических процессов получения и свойств нанообъектов (кластеров, наночастиц, фуллеренов, нанотрубок), наносистем, наноматериалов и изделий из них (ПК-7).

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать: методы создания наноструктур различного типа: молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, литография и высокотемпературный синтез нанокристаллов в диэлектрических средах.

уметь: планировать и проводить экспериментальные исследования и получать количественные оценки параметров наноструктур.

владеть: навыками проведения экспериментальных исследований и получением количественных оценок параметров наноструктур.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
Содержательный модуль 1 «Полупроводниковые гетероструктуры»	
Тема 1. Твердотельные гетероструктуры	Полупроводниковый гетеропереход
Тема 2. Размерное квантование и квантово-размерные структуры	Типы квантоворазмерных структур. Размерное квантование электронной подсистемы квантовых точек
Тема 3. Проблемы технологии квантово-размерных структур	Изготовление металлических нанозондов для приборов ближнепольной микроскопии. Изготовление диэлектрических наноразмерных зондов на основе волоконно-оптических световодов
Тема 4. Синтез и свойства фотонных кристаллов	Фотонные кристаллы. Изготовление фотонных кристаллов
Содержательный модуль 2 «Эпитаксиальное выращивание нанокристаллов»	
Тема 5. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, нанолитография	Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия. Нанолитография
Тема 6. Высокотемпературный синтез нанокристаллов в диэлектрических средах, самоорганизация квантовых точек и квантовых нитей	Самоорганизация квантовых точек и квантовых нитей

Тематический план

Содержательный модуль 1 «Полупроводниковые гетероструктуры»	
Названия содержательных	Количество часов

модулей и тем	Очная форма обучения						Заочная форма обучения					
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.				
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 1. Твердотельные гетероструктуры	18	2	4		12		18	2			16	
Тема 2. Размерное квантование и квантово-размерные структуры	16	2	4		10		18		2		16	
Тема 3. Проблемы технологии квантово-размерных структур	18	2	6		10		16				16	
Тема 4. Синтез и свойства фотонных кристаллов	20	4	6		10		18		2		16	
Итого по содержательному модулю 1	72	10	20		42		70	2	4		64	

Тематический план

Содержательный модуль 2 «Эпитаксиальное выращивание нанокристаллов»												
Названия содержательных модулей и тем	Количество часов											
	Очная форма обучения						Заочная форма обучения					
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.				
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 5. Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, нанолитография	38	6	10		22		36	1	2		33	
Тема 6.. Высокотемпературный синтез нанокристаллов в диэлектрических средах, самоорганизация квантовых точек и квантовых нитей	34	4	10		20		38	1	2		35	
Итого по содержательному модулю 2	72	10	20		42		74	2	4		68	
Всего по модулю	144	20	40		84		144	4	8		132	

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИОННЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Темы лекционных занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Твердотельные гетероструктуры	2
2	Размерное квантование и квантово-размерные структуры	2
3	Проблемы технологии квантово-размерных структур	2
4	Синтез и свойства фотонных кристаллов	4
5	Молекулярно-лучевая эпитаксия, газофазная эпитаксия, нанолитография	6
6	Высокотемпературный синтез нанокристаллов в диэлектрических средах, самоорганизация квантовых точек и квантовых нитей	4
	ВСЕГО	20

Темы практических занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Изготовление металлических нанозондов для приборов ближнепольной микроскопии	10
2	Изготовление диэлектрических наноразмерных зондов на основе волоконно-оптических световодов	10
3	Получение тонких слоев различных материалов методом термического напыления в вакууме	10
4	Технология изготовления твердотельных наноструктур	10
	ВСЕГО	40

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Организация самостоятельной работы студентов

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Рост наноструктур на фасетированных поверхностях.	8
2	Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков.	8
3	Поверхностные структуры плоских упругих доменов.	8
4	Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников.	8
5	Углеродные нанотрубки: синтез и физические свойства.	8
6	Синтез и характеристика квантовых нитей	9
7	Синтез массивов наностержней и квантовых нитей на основе «шаблонной» технологии.	9
8	Методы штамповки для производства наноструктур.	9

9	Материалы для нанoeлектроmechanических систем.	9
10	Нанокapельные (droplet) технологии.	8
	ВСЕГО	84

7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ *(не предусмотрено рабочим планом)*

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Что такое полупроводниковый гетеропереход?
2. Какие факторы учитываются при построении зонной диаграммы гетероперехода?
3. В чем заключается эффект размерного квантования?
4. Перечислите типы элементарных наноструктур?
5. Каким образом меняется энергетический спектр объемного полупроводника при переходе к двумерным, одномерным и нульмерным квантовым наноструктурам?
6. Перечислите основные типы полупроводниковых квантовых точек.
7. Какие объекты называются фотонными кристаллами?
8. Перечислите основные классы фотонных кристаллов.
9. Приведите примеры фотонных кристаллов, встречающихся в природе.
10. Методы синтеза одномерных, двумерных и трехмерных фотонных кристаллов

9. ОБРАЗЕЦ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

(образец варианта и критерии оценивания)

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-технический

Направление подготовки: **28.03.03 Наноматериалы**

Профиль:

Программа подготовки: **бакалавриат**

Семестр **8**

Учебная дисциплина **Физика гетерoэпитаксиальных наноструктур**

МОДУЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ВАРИАНТ №1

1. Типы элементарных наноструктур.
2. Основные классы фотонных кристаллов.
3. Методы синтеза одномерных фотонных кристаллов.

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий,
протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой
Преподаватель

Критерии оценивания модульного контроля

<i>Номер задания</i>	<i>Количество баллов</i>
Задание 1	10

Задание 2	10
Задание 3	10
Всего	30

10. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

Теоретические вопросы к зачету

1. Определение и классификация гетероструктур.
2. Изотипные и анизотипные гетеропереходы.
3. Двойные и многослойные гетеропереходы.
4. Основные критерии формирования гетеропереходов, подбора гетеропар
5. Диффузионные и эпитаксиальные технологии формирования гетеропереходов.
6. Ионно-плазменные методы получения полупроводниковых гетеропереходов.
7. Равновесное и неравновесное состояние гетероперехода.
8. Энергетическая диаграмма и токи через гетеропереход в равновесном и неравновесном состоянии.
9. Модели гетеропереходов.
10. Расчет параметров анизотипного гетероперехода.
11. Понятие идеального гетероперехода, модель Андерсона.
12. Механизмы переноса тока в гетеропереходах. Инжекция и рекомбинация.
13. Эффекты односторонней инжекции и сверхинжекции в гетеропереходах.
14. Особенности ВАХ гетероперехода.
15. Эффект Поля. Поверхность полупроводника.
16. Контакт металл-полупроводник. Модель Шоттки. Зонные диаграммы. Идеализированная модель и поверхностные состояния. Объемный слой.
17. Основные параметры барьера Шоттки. Равновесное и неравновесное состояние барьера Шоттки. Эффект Шоттки.
18. Теория термоэлектронной эмиссии и туннелирования. Высота барьера различных полупроводников.
19. Диоды Шоттки с охранными кольцами из p-n переходов.
20. Применение диодов Шоттки.
21. Методы исследования полупроводниковых гетероструктур и поверхностно-барьерных структур.
22. Метод вольтамперных характеристик.
23. Метод вольтфарадных характеристик.
24. Методы измерения высоты потенциального барьера.
25. Метод энергии активации.
26. Фотоэлектрический метод.

Зачетная работа включает три задания, за которые студент может получить max 50 баллов.

Критерии оценивания зачета

<i>Номер задания</i>	<i>Количество баллов</i>
Задание 1	15
Задание 2	15
Задание 3	20
Всего	50 баллов

11. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

По курсу «Физика гетероэпитаксиальных наноструктур» предполагается проведение промежуточной аттестации в виде модульного контроля, выполнение индивидуальной работы и зачета. Зачет сдают студенты с целью повышения рейтинга.

Распределение баллов, которые могут получить студенты в процессе изучения дисциплины

Организационно учебная работа студента	СРС		Всего
	Индивидуальная работа	Модульный контроль	
max 10 баллов	max 10 баллов	max 30 баллов	100

Шкала соответствия баллов национальной шкале

Оценка по шкале ECTS	Оценка по 100-балльной шкале	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет)	Оценка по государственной шкале (зачет)
A	90-100	5 (отлично)	зачтено
B	80-89	4 (хорошо)	зачтено
C	75-79	4 (хорошо)	зачтено
D	70-74	3 (удовлетворительно)	зачтено
E	60-69	3 (удовлетворительно)	зачтено
FX	35-59	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи	не зачтено
F	0-34	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов	не зачтено

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Лекционные и практические занятия по учебной дисциплине «Физика гетероэпитаксиальных наноструктур» проводятся в учебной лаборатории №016 «Физика полупроводников». Лаборатория оснащена комплектом учебной мебели на 18 посадочных мест, фломастерной доской, 1 ноутбук с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет, 1 мультимедийный проектор, 1 экран переносной, 1Вакуумный универсальный пост -2К, 1 Форвакуумный насос, 1 Спектрометр СМ - 4А. В учебной лаборатории «Электронной микроскопии» №313, оборудованной комплектом учебной мебели на 6 посадочных мест, комплект рабочего места преподавателя, 1 ноутбук с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет, 1 Электронный микроскоп вакуумный-100ЛМ, 1 Микроскоп металлографический-7, 1 Вакуумметр ионизационно-термопарный-2АП, 1Вакуумный универсальный пост-4.

Самостоятельная работа студентов проходит в читальном зале справочно-библиографической информационной работы (ауд. № 102: г. Донецк, пр. Гурова, 6), помещение оснащено комплектом учебной мебели на 23 посадочных места, компьютер в комплекте (1 шт); в зале электронной информации (Донецк, пр. Гурова, 6, № 104-а.). Помещение оснащено комплектом учебной мебели на 40 посадочных мест, компьютер в комплекте (6 шт);

13. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

№ п/п	Наименование	Кол-во экземпляров в библиотеке ДонНУ	Наличие электронной версии в ЭБС
<i>Основная литература</i>			
1.	Иваницын, Н. П. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах [Электронный ресурс] : для студентов, аспирантов, специализирующихся по направлению подготовки 030402 «физика» и специалистов в области физики конденсированных сред, теоретической физики и нанотехнологий. / Н. П. Иваницын, С. В. Терехов, В. М. Юрченко ; ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", Физико-технический факультет, Кафедра теоретической физики и нанотехнологий. - Донецк : ДонНУ, 2019. - Электронные текстовые данные (1 файл).		+
2.	Буравлев, Ю. М. Основы инженерии поверхности металлических деталей и конструкций [Электронный ресурс] : [учебное пособие] / Ю. М. Буравлев, Н. П. Иваницын, А. Г. Милославский ; ГОУ ВПО Донецкий национальный университет. - Донецк : ГОУ ВПО "ДонНУ", 2017. - Электронные данные (1 файл).		+
3.	Бехштедт, Ф. Поверхности и границы раздела полупроводников / Ф. Бехштедт, Р. Эндерлайн ; Пер. с англ. под ред. И. П. Звягина. - М. : Мир, 1990. - 484 с.	3	
4.	Ковальчук, В. В. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур / В. В. Ковальчук. - К. : Хай-Тек-Прес, 2007. - 303 с.	1	
<i>Дополнительная литература</i>			
5.	Грязнов, О. С. Таблицы для расчета кинетических коэффициентов в полупроводниках / О. С. Грязнов ; АН СССР, Ин-т полупроводников. - Ленинград : Наука, 1971. - 63 с.	6	
6.	Джафаров, Т. Д. Дефекты и диффузия в эпитаксиальных структурах / Т. Д. Джафаров ; [отв. ред. Б. И. Болтакс] ; АН СССР, Физико-технический ин-т им. А. Ф. Иоффе. - Ленинград : Наука, 1978. - 207 с.	3	
7.	Ашкрофт Н. Физика твердого тела. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; Пер. с англ. А. С. Михайлова ; Под ред. М. И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 399 с.	1	

14. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

<http://donnu.ru/> – сайт ДонНУ.

<http://library.donnu.ru/> – сайт библиотеки

15. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДОННУ № 46484614);

2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДОННУ лицензия № 46472919);
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы DreamSpark для высших учебных заведений);
4. Лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения: FreeLab, Scilab, Free Pascal, Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20____ год.

Протокол № ____ от “__” _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20____ год.

Протокол № ____ от “__” _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____