

Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников высшей школы по направлению

на базе учебного курса
Физика и технология молекулярно-лучевой эпитаксии наноструктур
(наименование учебного курса)

Цель Изучение основ технологии молекулярно-лучевой эпитаксии, термодинамики и кинетики роста атомных слоёв, гетероструктур с пониженной размерностью

Категория слушателей преподаватели и научные работники высшей школы

Примерный срок обучения 36 часов

Форма обучения с частичным отрывом от работы, дистанционно- очная

Режим занятий 8 часов в день

Целью данного курса является ознакомление с основами технологии молекулярно-лучевой эпитаксией, как одного из передовых и совершенных методов создания различных типов наноструктур. Вопросы создания структур затрагивают глубокую физику процесса, термодинамику и кинетику роста атомных слоев, самоорганизацию на наноуровне, современные методы получения, измерения сверхвысокого вакуума, методы экспресс – анализа. В курсе рассматриваются гетероструктуры с пониженной размерностью, содержащие квантовые ямы, сверхрешётки, квантовые нити, квантовые точки и кольца.

Требования к уровню освоения учебного курса.

Преподаватели должны:

- Знать: квантовая физика, физика полупроводников
- Иметь навыки: работа с вакуумными системами, английский язык
- Иметь представление: гетероструктуры

Научные работники должны:

1. Знать: физика полупроводников
2. Иметь навыки: работа с вакуумными системами
3. Иметь представление: гетероструктуры, приборы на основе полупроводников

1. Задачи изучения дистанционных и очных частей учебных курсов (краткая аннотация дистанционных и очных частей учебных курсов с перечнем названий лекций, практических занятий и др.).

Курс направлен на изучение основ технологии молекулярно-лучевой эпитаксии, как одного из передовых и совершенных методов создания различных типов наноструктур. Вопросы создания структур затрагивают глубокую физику процесса, термодинамику и кинетику роста атомных слоев, самоорганизацию на наноуровне, современные методы получения, измерения сверхвысокого вакуума, методы экспресс – анализа.

В курсе рассматриваются вопросы создания, строения, ключевые особенности электрофизических, оптических и структурных свойств гетероструктур с пониженной размерностью, содержащих квантовые ямы, сверхрешетки, квантовые нити, квантовые точки и кольца. Дан обзор практических приложений для гетеросистем групп АЗВ5.

Курс состоит из 6-ти лекций:

Лекция 1 "Принцип молекулярно-лучевой эпитаксии"

Лекция 2 "Оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии"

Лекция 3 "Физические процессы. Контроль параметров"

Лекция 4 "Инжиниринг наногетероструктур. Выбор гетеросистемы"

Лекция 5 "Приложения эпитаксиальных структур"

Лекция 6 "Методы поверхностной и объемной характеристики гетероструктур"

Практические занятия:

Практическое занятие 1: Работа с вакуумной системой молекулярно-лучевой эпитаксии. Откачка камеры роста до 10^{-10} Торр

Практическое занятие 2: Измерение электрофизических характеристик гетероструктур АШВУ с помощью метода Ван-дер Пау.

2.Реферативное описание содержания лекций (тем), входящих в учебный курс (изложение основных вопросов в заданной последовательности).

Лекция 1 "Принцип молекулярно-лучевой эпитаксии"

Принципы молекулярно-лучевой эпитаксии. Ячейка Кнудсена. Термометрия и принцип автоматического регулирования температуры (методы стабилизации молекулярных потоков). Исходные материалы для эпитаксии

Лекция 2 "Оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии"

Получение и измерение сверхвысокого вакуума. Турбомолекулярный насос. Ионные насосы. Сублимационные насосы и крионасосы. Контроль состава остаточных газов.Течеискание. Многокамерные системы и перезагрузка носителя. Цикл ростового процесса.

Лекция 3 "Физические процессы. Контроль параметров"

Кинетика и термодинамика эпитаксиального выращивания полупроводников. Отжиг подложек. Поверхностные реконструкции. Режимы роста: двумерный, островковый. Применение поверхностно-активационных агентов. Эпитаксия решеточно-рассогласованных соединений. Самоорганизующиеся наноструктуры. Механизмы роста квантовых точек, квантовых нитей и квантовых колец.

Лекция 4 "Инжиниринг наногетероструктур. Выбор гетеросистемы"

Выращивание тройных твердых растворов. Методы получения и контроля однородности параметров гетероструктур при эпитаксии. Дефекты структуры – точечные, овалы, дислокации. Дислокации: несоответствия, прорастающие дислокации.

Лекция 5 "Приложения эпитаксиальных структур"

Буфер GaAs. Легирование GaAs. Слои AlGaAs и их легирование. Гетероструктура на одиночном гетеропереходе AlGaAs/GaAs. Модулированное легирование и подвижность двумерных электронов. НЕМТ- транзистор. Квантовые ямы на основе двойного гетероперехода. Выращивание сверхрешеток. Псевдоморфные (напряженные) гетероструктуры на основе AlGaAs/InGaAs/GaAs, особенности выращивания и электрофизические свойства. Гетероструктуры с двусторонним легированием. Дефекты и дислокации. Критическая толщина напряженных гетерослоев. Изоморфные подложке InP и псевдоморфные структуры на основе тройных растворов InGaAs/InAlAs: рост и свойства. Метаморфные структуры на подложках GaAs.

Лекция 6 "Методы поверхностной и объемной характеристики гетероструктур"

In situ контроль. ДБЭ, ДМЭ, Оже-спектроскопия. Ex situ контроль : ДРД –Рентгеновская дифрактометрия. ВИМС. ФЛ, ФО. РЭМ, ПЭМ, АСМ, ТСМ

3.Количество часов, отводимых на дистанционные и очные части учебных курсов (учебного курса), другие различные виды занятий.

Дистанционные учебные курсы – 26 часов

Очные учебные курсы – 4 часа

Самостоятельная работа – 6 часов

4.Методические рекомендации по реализации учебной программы.

4.1.Формы и виды контроля: тестовые и контрольные вопросы, темы рефератов.

По 5 контрольных вопроса на каждую лекцию.

Тесты для самотестирования.

В конце обучения проводится итоговое тестирование по всему курсу.

Написание реферата по одной из трёх тем.

Темы рефератов:

1. Методы роста тонких плёнок. Преимущества и недостатки метода молекулярно-лучевой эпитаксии.

2. GaN – новый шаг в развитии СВЧ электроники.
3. Применение современных полупроводниковых гетероструктур.

4.2. Учебно-тематический план .

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
1.	“Физика и технология молекулярно-лучевой эпитаксии наноструктур” Лекция №1	36ч.	26	6	4	1. Тесты для самотестирования 2. Контрольные вопросы (электронная зачётка)
2.	Принцип молекулярно-лучевой эпитаксии. Лекция №2					
3.	Оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии. Лекция №3					
4.	Физические процессы. Контроль параметров. Лекция №4					
5.	Инжиниринг наногетероструктур. Выбор гетеросистемы. Лекция №5					
6.	Приложения эпитаксиальных структур. Лекция №6 Методы поверхностной и объемной характеристики гетероструктур					
Итоговый контроль			1. Тесты для самотестирования	2. Контрольные вопросы (электронная зачётка)	3. Реферат	Реферат

4.3.Список литературы (основной и дополнительной), а также других видов учебно-методологических материалов и пособий, необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.).

1. W. Umrath, Fundamentals of vacuum technology, 2001.
2. Г.А. Васильев, Магнито-разрядные насосы, Москва, 1970.
3. А.В. Ерюхин, Основы вакуумных измерений, Москва, 1977.
4. Е.Г. Великанов, С.Ф. Гришин, Л.С. Гуревич, Криогенные насосы, Москва, 1977.
5. В.Г. Дубровский, Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур, Санкт-Петербург, 2006.
6. R. F.C. Farrow, Molecular Beam Epitaxy, U.S.A., 1995.
7. P. Bhattacharya, Properties of III-V quantum wells and superlattices, U.S.A., 1996.
8. Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос, Электронные свойства легированных полупроводников, Москва, 1979.
9. А.В. Кравченко, В.Н. Овсяк, Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности, Новосибирск, 2000.
10. Р. Смит, Полупроводники, Москва, 1982.