МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике
ФГБОУ ВО "ЯрГУ им. П.Г. Демидова" в ЯФ ФТИАН РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины

Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников
программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по научной специальности 1.3.11 Физика полупроводников

Форма обучения очная

Программа одобрена на заседании
Базовой кафедры нанотехнологий в электронике
ФГБОУ ВО "ЯрГУ им. П.Г. Демидова" в ЯФ ФТИАН РАН
от «30» марта 2023 года, протокол № 8

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников» являются:

- усвоение аспирантами знаний о физических явлениях, имеющих место в наноструктурированных полупроводниках, об использовании этих материалов в твердотельных устройствах нового поколения;
- изучение модельных представлений и основных теоретических принципов изменения свойств полупроводников при переходе в нанометровый диапазон;
- формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения наноструктурированных систем.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

«Формирование и свойства наноструктурированных полупроводников» является дисциплиной по выбору. Данная дисциплина рассматривает основные физические процессы, происходящие в полупроводниковых пленках. Даная дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими частями ООП, а именно с обязательной дисциплиной «Специальность», курсами по выбору (Методы измерения и анализа электрических свойств полупроводниковых пленок; Формирование, структура и свойства полупроводниковых пленок) и педагогической практикой.

Для изучения данной дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета или бакалавриата – магистратуры.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины: -

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные понятия и закономерности физической кинетики полупроводников и низкоразмерных структур.
- методы расчета и моделирования параметров полупроводниковых материалов и наноструктур и методы их диагностики.

Уметь:

- оперировать физическими и технологическими терминами и величинами;
- обосновывать и использовать физические законы, выбирать методы анализа полупроводниковых структур и интерпретировать их результаты;
- применять современные компьютерные средства и теоретические знания в области физики полупроводников для анализа и интерпретации полученных данных.

Владеть:

- практическими навыками самостоятельной работы с полупроводниковыми приборными структурами;
- методами расчета и оптимизации параметров современных полупроводниковых устройств;
- информацией об областях применения и проблемах исследования полупроводниковых струкур;

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Предмет, цели и задачи курса	2	1				10	Реферат
2	Свойства частиц малых размеров	2	1	1			10	Реферат
3	Электронные свойства наночастиц	2	1	1			10	Реферат
4	Нанотехнологии	2	1	1		1	14	Контрольная работа №1
5	Методы формирования и свойства квантовых точек	2	1	1			12	Реферат
6	Методы формирования нанонитей и их свойства	2	1	1			14	Реферат
7	Синтез ультратонких пленок и сверхрешеток	2	1			1	12	Контрольная работа №2
8	Специальные методы диагностик	2	1	1			10	Реферат
								Зачет
	Всего за 2 семестр 108 час		**8**	**6**		**2**	**92**	

Содержание разделов дисциплины:

1. Предмет, цели и задачи курса

Основная терминология. Тенденция перехода от микроэлектроники к наноэлектронике. Уменьшение топологического размера элементов. Наноэлектроника. Мезоскопика. Молекулярно-атомный уровень. Области применения наноэлектроники и нанотехнологий. Взаимосвязь с другими науками. Нанотехнологии и общество.

2. Свойства частиц малых размеров.

0-D, 1-D, 2-D , 3-D системы. Зависимость свойств от размеров и размерности. Изменение соотношения внешних и внутренних атомов в кластере. Изменение

координационного числа для кластера. Изменение температуры плавления (кластер, пленка). Изменение постоянной решетки. Изменение энергии связи.

3. Электронные свойства наночастиц

Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках; зависимость от размеров. Изменение зонной структуры металла; размерно-индуцированный переход «металл-диэлектрик». Изменение оптических свойств металлов и полупроводников. Изменение электрических и магнитных свойств. Изменение химических свойств.

4. Нанотехнологии

Два подхода к получению наноструктур. “Bottom-up” и “Top-down” методы. Методы субмикронной фотолитографии. Электронная литография. Ионная литография. Рентгеновская литография. Литография с применением синхротронного излучения. Литография нановдавливанием. Наносферная литография.

5. Методы формирования и свойства квантовых точек

Формирование квантовых точек по механизму Странски-Крастанова. Атомное манипулирование. Квантовые «загоны» Эглера. Процессы контролируемого размещения квантовых точек. Синтез квантовых точек в матрицах на основе полимеров. Синтез квантовых точек в стеклянных матрицах. Формирование квантовых точек в пористых матрицах (цеолиты, золь-гели).

6. Методы формирования нанонитей и их свойства

Коллоидный синтез. Гидротермальный метод. Химическое осаждение. Эпитаксиальный рост нанонитей по механизму «пар-жидкость-кристалл». Электрохимическое осаждение. Принц-технология.

7. Синтез ультратонких пленок и сверхрешеток

Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Метод горячей стенки. Формирование наноструктурированных пленок на холодных и неориентированных подложках. Примеры реализации.

8. Специальные методы диагностики

Микроскопические методы анализа. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия. Туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Фотолюминесценция наноразмерных полупроводников. Спектроскопия комбинационного рассеяния.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя.

Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала. Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. В лекции сочетаются проблемные и информационные начала. При этом процесс познания аспирантом в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к поисковой, исследовательской деятельности.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Теоретическая физика» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. / А. И. Гусев - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2007. - 414 с.
2. Рыжонков Д.И. Наноматериалы. / Д.И. Рыжонков; Лёвина В. В; Дзидзигури Э. Л - 3-е изд. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 369 с.
3. Нанотехнологии в электронике. Вып. 3. / под ред. Ю. А. Чаплыгина - Б.м.: Б.и., 2015. - 479 с.

б) дополнительная литература

1. Борисенко С.И. Физика полупроводниковых наноструктур: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010 http://window.edu.ru/resource/927/73927/files/posobie-fiz.pdf
2. Гаман В. И. Физика полупроводниковых приборов: учеб.пособие. / В. И.Гаман; М-во образования РФ - Томск: Изд-во НТЛ, 2000. - 425с.
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. / Ансельм А.И. - М.: ГРФМЛ. Наука. – 1978. - 615 с.

в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав следующие помещения:

- учебные аудитории для проведения лекций;
- учебные аудитории для проведения практических занятий;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Автор(ы) :

Заведующий Базовой кафедрой нанотехнологий в электронике
ФГБОУ ВО "ЯрГУ им. П.Г. Демидова" в ЯФ ФТИАН РАН
Профессор, доктор физико-математических наук А.С. Рудый

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Избранные главы физики полупроводников – I»

Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации
аспирантов по дисциплине

1. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету:

1.Тенденция перехода от микроэлектроники к наноэлектронике. Уменьшение топологического размера элементов.
2. Наноэлектроника. Мезоскопика. Молекулярно-атомный уровень.
3. Области применения наноэлектроники и нанотехнологий. Нанотехнологии и общество.
4. Свойства частиц малых размеров. 0-D, 1-D, 2-D , 3-D системы. Зависимость свойств от размеров и размерности.
5. Изменение соотношения внешних и внутренних атомов в кластере.
6. Изменение координационного числа для кластера.
7. Изменение температуры плавления (кластер, пленка).
8. Изменение постоянной решетки.
9. Изменение энергии связи.
10.Электронные свойства наночастиц. Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках; зависимость от размерности.
11.Изменение зонной структуры металла; размерно-индуцированный переход «металл-диэлектрик».
12. Изменение оптических свойств металлов и полупроводников.
13. Изменение электрических и магнитных свойств.
14. Изменение химических свойств.
15. Нанотехнологии. Два подхода к получению наноструктур. “Bottom-up” и “Top-down” методы.
16. Методы субмикронной фотолитографии.
17. Электронная литография.
18. Ионная литография.
19. Рентгеновская литография. Литография с применением синхротронного излучения.
20. Литография нановдавливанием. Наносферная литография.
21.Методы формирования квантовых точек Формирование квантовых точек по механизму Странски-Крастанова. Атомное манипулирование. Квантовые «загоны» Эглера.
22. Процессы контролируемого размещения квантовых точек.
23. Методы формирования нанокристаллов. Синтез квантовых точек в матрицах на основе полимеров. Синтез квантовых точек в стеклянных матрицах. Формирование квантовых точек в пористых матрицах (цеолиты, золь-гели).
24. Синтез нанонитей.
25. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия.
26. Электронная микроскопия.
27. Спектроскопия комбинационного рассеяния.

1.2 Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации

Темы рефератов

1. Термин «Наноструктурированное состояние».
2. Изменение соотношения внешних и внутренних атомов в кластере. Влияние этого параметра на термодинамические характеристики полупроводника.
3. Изменение ширины запрещенной зоны в нанокристаллических полупроводниках. Примеры расчетов.
4. “Bottom-up” и “Top-down” методы.
5. Формирование квантовых точек по механизму Странски-Крастанова.
6. Формирование квантовых точек в пористых матрицах.
7. Принц-технология.
8. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.

Контрольная работа:

1. Охарактеризуйте основные физические закономерности, сопровождающие изменение параметров полупроводника при переходе от массивного кристалла в наноструктурированное состояние.
2. Дайте характеристику базовым методам формирования 0-D, 1-D и 2-D систем.

2.1 Описание процедуры выставления оценки

По итогам аттестационных мероприятий выставляется зачет/незачет.

Для успешного освоения дисциплины очень важна самостоятельная работа аспирантов над конспектами прослушанных лекций и разделами курса для самостоятельного изучения. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, из учебной литературы при самостоятельной проработке разделов курса.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде рефератов и контрольных работ. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Зачет принимается в виде устного опроса с обсуждением 1 вопроса из списка вопросов к зачету, а также углубленное обсуждение 1 из подготовленных рефератов экзаменуемого. На самостоятельную подготовку к зачету выделяется не менее 3 дней, во время подготовки к зачету предусмотрена групповая консультация.