

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

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

И.С. Огнев
(подпись)

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

«Методы формирования наноструктурированных систем»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Форма обучения очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
микроэлектроники и общей физики
от « 17 » апреля 2023 года, протокол №5

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

- получение аспирантами знаний об основных физических и физико-химических процессах, происходящих при синтезе или разложении исходных материалов, которые приводят к получению наноструктурированных систем;
- изучение процессов образования наноструктурированных систем различной размерности;
- формирование у аспирантов знаний о методах формирования наноструктур с заданными свойствами и контроля их параметров.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина является дисциплиной по выбору. Дисциплина имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими изучаемыми дисциплинами и способствует научно-исследовательской работе аспиранта по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния по отрасли наук: физико-математические.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные физико-химические процессы, модельные представления, математический аппарат и сравнительные характеристики технических методов при получении наноструктурированных систем;

Уметь:

- классифицировать поставленные задачи в соответствии с фундаментальными разделами физики;
- применять вариацию внешних физических и химических условий для получения наноматериалов с заданными свойствами с привлечением соответствующего математического аппарата и приемов сравнительного анализа и оптимизации;

Владеть:

- современными методами проведения исследований в области формирования наноструктурированных систем;
- навыками анализа возможностей технологий и методик получения, вариации и оптимизации наноструктурированных объектов с заданными свойствами с привлечением физических и физико-химических моделей.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные 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
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	Форма промежуточной аттестации
1	Введение. Классификация наноструктур. Аналитические методы исследования и описания нанообъектов	2	2	2			23	Задания для самостоятельной работы
2	Методы синтеза нанокристаллических порошков. Компактные нанокристаллические материалы	2	2	2		1	23	Задания для самостоятельной работы
3	Методы формирования 1D систем. Модели роста нанонитей и нановискеров	2	2	1			23	Задания для самостоятельной работы
4	Методы формирования 2D систем. Приемы получения ультратонких пленок и композиционных сверхрешеток	2	2	1		1	20	Задания для самостоятельной работы
							3	зачет
	Всего за 2 семестр 108 час		8	6		2	92	
	Всего 108 час.		8	6		2	92	

Содержание разделов дисциплины:

Тема 1. Введение. Классификация наноструктур. Аналитические методы исследования и описания нанообъектов

Введение, цели и задачи курса. Основная терминология. Тенденция перехода от микроэлектроники к нанoeлектронике. Молекулярно-атомный уровень. Наноструктуры. Два подхода к получению наноструктур. “Bottom-up” и “Top-down” методы. Методы субмикронной фотолитографии. Классификация наноструктур. Аналитические методы исследования и описания нанообъектов. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовой микроскоп.

Тема 2. Методы синтеза нанокристаллических порошков. Компактные нанокристаллические материалы

Газофазный синтез. Плазмохимический синтез. Осаждение из коллоидных растворов. Термическое разложение и восстановление. Механосинтез. Детонационный синтез.

Упорядочение нестехиометрических соединений. Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах. Компактные нанокристаллические материалы. Компактирование нанопорошков. Осаждение на подложку. Кристаллизация аморфных сплавов.

Тема 3. Методы формирования 1D систем. Физические модели роста нанонитей и нановискеров

Теория роста нанонитей и нановискеров по механизму «пар-жидкость-кристалл». Качественное рассмотрение и элементарные модели. Модель Гиваргизова-Чернова. Модель диффузионного роста. Адсорбционно-стимулированный рост по механизму «пар-жидкость-кристалл». Диффузионная теория роста нановискеров. Теория и эксперимент.

Тема 4. Методы формирования 2D систем. Приемы получения ультратонких пленок и композиционных сверхрешеток

2D системы. Физические процессы формирования тонких пленок. Этапы роста пленок. Влияние температуры подложки. Механизмы роста тонких пленок. Квантовые и размерные эффекты в ультратонких пленках. Сверхрешетки. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. МОС-гидридная технология получения тонких пленок.

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 в случае перехода на дистанционное обучение используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Методы формирования наноструктурированных систем» 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

- Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - 2-е изд., испр., - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 416 с. - ISBN 978-5-9221-0582-8

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105828.html>. Режим доступа: по подписке.

- Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур : учеб. пособие. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. - 227 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778225343.html>.

Режим доступа: по подписке.

- Илюшин В. А. Физикохимия наноструктурированных материалов. Изд-во НГТУ, 2013. - 107 с. - ISBN 978-5-7782-2215-1.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778222151.html>. Режим доступа: по подписке.

б) дополнительная литература

-Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. - М.: КомКнига, 2006

www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=353244&cat_cd=YARSU

- Зимин С.П., Горлачев Е.С. Наноструктурированные халькогениды свинца. – ЯрГУ, 2011

www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1268771&cat_cd=YARSU

- Дубровский В.Г. Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. М.: Физматлит, 2009 http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1779377#1

в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)

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

- Библиотека научных журналов «Физика твердого тела», «Физика полупроводников», «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики», «Оптика и спектроскопия». Журнальный портал ФТИ им. А.Ф. Иоффе. <http://journals.ioffe.ru/>.

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:

Профессор, д.ф.-м.н.
(должность, ученая степень)

(подпись)

Зимин С.П.
(Фамилия И.О.)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Методы формирования наноструктурированных систем»
по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния**

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

**1. Контрольные задания и (или) иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Задания для самостоятельной работы

2 семестр

Тема 1. Введение. Классификация наноструктур. Аналитические методы исследования и описания нанообъектов

- дайте описание техническим возможностям сканирующего электронного микроскопа SUPRA-40 при характеристике нанообъектов;
- проанализируйте возможности просвечивающего электронного микроскопа Tescan G2 TF20-TF30 UT для описания наносистем;

Тема 2. Методы синтеза нанокристаллических порошков. Компактные нанокристаллические материалы

- проведите сравнительную характеристику различных методов получения нанокристаллических объектов применительно к материалам, исследуемым в рамках диссертационного исследования;

Тема 3. Методы формирования 1D систем. Физические модели роста нанонитей и нановискеров

- дайте характеристику различным металлам, применяемым в качестве металл-катализатора в методе «пар-жидкость-кристалл»;
- поясните, какие условия необходимы для получения длинных нанонитей в механизме «пар-жидкость-кристалл»;

Тема 4. Методы формирования 2D систем. Приемы получения ультратонких пленок и композиционных сверхрешеток

- опишите принципиальные отличия метода молекулярно-лучевой эпитаксии от других вакуумных методов выращивания тонких пленок.

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

Зачет по дисциплине выставляется по результатам очного собеседования. Для получения зачета необходимы выполнение заданий для самостоятельной работы по всем

четырем темам и прохождении индивидуального финального собеседования на оценку не менее 3 баллов.

Правила выставления оценки по результатам финального собеседования:

Оценка по результатам индивидуального финального собеседования определяется в баллах по следующему принципу: обучающемуся выдается 4 вопроса из Списка вопросов к зачету (по одному вопросу из темы). За каждый правильно раскрытый вопрос дается 1 балл, неправильное раскрытие материала - 0 баллов. Общее число баллов за каждый вопрос суммируется. Для получения зачета по результатам собеседования необходимо набрать не менее 3 баллов.

Список вопросов к зачету:

Введение, цели и задачи курса. Основная терминология. Тенденция перехода от микроэлектроники к нанoeлектронике. Молекулярно-атомный уровень. Наноструктуры. Два подхода к получению наноструктур. “Bottom-up” и “Top-down” методы. Методы субмикронной фотолитографии. Классификация наноструктур. Аналитические методы исследования и описания нанообъектов. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовой микроскоп.

Газофазный синтез. Плазмохимический синтез. Осаждение из коллоидных растворов. Термическое разложение и восстановление. Механосинтез. Детонационный синтез. Упорядочение нестехиометрических соединений. Механизмы формирования квантовых точек в гетероэпитаксиальных системах. Компактные нанокристаллические материалы. Компактирование нанопорошков. Осаждение на подложку. Кристаллизация аморфных сплавов.

Теория роста нанонитей и нановискеров по механизму «пар-жидкость-кристалл». Качественное рассмотрение и элементарные модели. Модель Гиваргизова-Чернова. Модель диффузионного роста. Адсорбционно-стимулированный рост по механизму «пар-жидкость-кристалл». Диффузионная теория роста нановискеров. Теория и эксперимент.

2D системы. Физические процессы формирования тонких пленок. Этапы роста пленок. Влияние температуры подложки. Механизмы роста тонких пленок. Квантовые и размерные эффекты в ультратонких пленках. Сверхрешетки. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. МОС-гидридная технология получения тонких пленок.