

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

«Физические свойства 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 о физических явлениях, имеющих место в наноструктурированных материалах, об использовании этих материалов в твердотельных устройствах нового поколения;
- изучение модельных представлений и основных теоретических принципов изменения свойств материалов при переходе в нанометровый диапазон.

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 физические закономерности, связанные с формированием и свойствами наноструктурированных объектов, с условиями реализации квантовых размерных эффектов, с модельными представлениями и соответствующим математическим аппаратом для их описания;

Уметь:

- классифицировать поставленные задачи в соответствии с фундаментальными разделами физики;
- применять полученные знания для анализа параметров и характеристик наноструктурированных объектов, использовать физические законы, теоретические модели для предсказания поведения физических параметров в разных условиях, анализировать задачи по реализации классических и квантовых размерных эффектов при вариации размеров и формы нанообъектов;

Владеть:

- информацией об областях применения наноструктурированных материалов; практическими приемами при работе с нанообъектами электроники; методами измерения основных параметров наноструктурированных систем в условиях широкого диапазона размеров и формы, методиками оптимизации эксперимента.

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. Предмет, цели и задачи курса. Свойства объектов малых размеров	2	2	2			24	Задания для самостоятельной работы
2	Электронная структура объемных твёрдых тел. Изменение энергетического спектра носителей при переходе к объектам малых размеров	2	2	2		1	22	Задания для самостоятельной работы
3	Анализ размерных эффектов в наносистемах. Применение наноструктурированных систем	2	2	1			23	Задания для самостоятельной работы
4	Специальные методы диагностики нанобъектов	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. Предмет, цели и задачи курса. Свойства объектов малых размеров

Основная терминология. Шкала размеров объектов от объемных материалов до молекулярно-атомного уровня. 3D, 2D, 1D и 0D 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. Изменение химических, оптических, электрических и магнитных свойств при переходе к наноразмерам.

Тема 2. Электронная структура объемных твёрдых тел. Изменение энергетического спектра носителей при переходе к объектам малых размеров

Типы твёрдых тел. Электроны в твердых телах. Основные приближения зонной теории. Энергетические зоны. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Экспериментальные результаты, показывающие изменение энергетического спектра при наноструктурировании. Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках при уменьшении размеров частиц. Роль размерного квантования. Теоретические модели изменения E_g , их применимость к различным материалам. Энергетические уровни электронов для частиц малых размеров.

Тема 3. Анализ размерных эффектов в наносистемах. Применение наноструктурированных систем

Классические и квантовые размерные эффекты в наносистемах. Комплексный анализ оптических, электрических, структурных характеристик наноструктурированных систем на примере полупроводниковых нанообъектов халькогенидов свинца.

Критический анализ возможностей наноструктурированных систем в твердотельных устройствах различного назначения. Примеры применения в опто- и наноэлектронике, магнитных устройствах, солнечной энергетике и т.д.

Тема 4. Специальные методы диагностики нанообъектов

Фотолюминесценция нанообъектов. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Микроскопические методы характеристики геометрических размеров. Специальные методы определения размеров малых частиц.

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 «Физические свойства 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

- Сергеев Н. А., Рябушкин Д.С. Физика наносистем. Москва: Логос, 2017. - 192 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987048337.html>

Режим доступа: по подписке.

- Неволин В. К. Квантовый транспорт в устройствах. - Москва: Техносфера, 2012. - 88 с. –

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948363141.html>

Режим доступа: по подписке.

- Илюшин В. А. Наноматериалы. - Новосибирск: НГТУ, 2019. - 114 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778238589.html>

Режим доступа: по подписке.

б) дополнительная литература

- Барыбин А. А., Бахтина В. А., Томилин В. И., Томилина Н. П. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур. Красноярск : СФУ, 2011

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763823967.html>

- Режим доступа: по подписке.

- Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - 2-е изд., испр. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 416 с

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105828.html>

Режим доступа: по подписке.

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

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

в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)

- Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uni-yar.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
«Физические свойства 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. Предмет, цели и задачи курса. Свойства объектов малых размеров

- на примере материалов, изучаемых в ходе диссертационного исследования, опишите изменения свойств при переходе от объемного состояния в наноструктурированное;

Тема 2. Электронная структура объемных твёрдых тел. Изменение энергетического спектра носителей при переходе к объектам малых размеров

- проведите анализ изменений энергетического спектра носителей заряда на примере квантовых точек сульфида свинца в рамках различных моделей;

Тема 3. Анализ размерных эффектов в наносистемах. Применение наноструктурированных систем

- оцените условия наблюдения классических и квантовых размерных эффектов в материалах, изучаемых в Вашей диссертационной работе;
- дайте анализ условий наблюдения классических и квантовых размерных эффектов в халькогенидах свинца;

Тема 4. Специальные методы диагностики нанообъектов

- опишите физическую картину взаимосвязи спектров поглощения и спектров фотолюминесценции для диспергированных полупроводниковых квантовых точек;
- проанализируйте данные литературных источников об исследованиях материалов Вашей диссертационной работы методом комбинационного рассеяния света.

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 прохождение 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:

Основная терминология. Шкала размеров объектов от объемных материалов до молекулярно-атомного уровня. 3D, 2D, 1D и 0D 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. Изменение химических, оптических, электрических и магнитных свойств при переходе к наноразмерам.

Типы твердых тел. Электроны в твердых телах. Основные приближения зонной теории. Энергетические зоны. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Экспериментальные результаты, показывающие изменение энергетического спектра при наноструктурировании. Изменение ширины запрещенной зоны в полупроводниках при уменьшении размеров частиц. Роль размерного квантования. Теоретические модели изменения E_g , их применимость к различным материалам. Энергетические уровни электронов для частиц малых размеров.

Классические и квантовые размерные эффекты в наносистемах. Комплексный анализ оптических, электрических, структурных характеристик наноструктурированных систем на примере полупроводниковых нанобъектов халькогенидов свинца.

Критический анализ возможностей наноструктурированных систем в твердотельных устройствах различного назначения. Примеры применения в опто- и наноэлектронике, магнитных устройствах, солнечной энергетике и т.д.

Фотолюминесценция нанобъектов. Спектроскопия комбинационного рассеяния. Микроскопические методы характеристики геометрических размеров. Специальные методы определения размеров малых частиц.