

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

«Экспериментальные методы изучения поверхности и объема твердых тел»

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 экспериментальных методах исследования поверхности и объема твердотельных материалов и наноструктурированных систем;
- изучение физических процессов взаимодействия электронов, ионов, различных видов излучения с твердотельными структурами для последующего использования этих процессов при описании свойств объектов.

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 процессы, модели и математический аппарат, связанные с взаимодействием электронных и ионных потоков, различных видов излучения с объемом и поверхностью твердотельных структур при вариации формы и размеров;
- сравнительные характеристики применяемых методов для описания конкретных физических характеристик твердотельных структур;

Уметь:

- классифицировать поставленные задачи в соответствии с фундаментальными разделами физики;
- применять полученные знания для анализа и интерпретации экспериментальных результатов; использовать их для оптимизации экспериментального цикла в процессе проведения комплексных исследований;

Владеть:

- современными методами проведения исследований при определении параметров поверхности и объема твердотельных систем;
- экспериментальными подходами при характеристике объектов твердотельной электроники, информацией о возможностях и недостатках различных экспериментальных методик.

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. Общая классификация методов исследования твердых тел и наноструктур.	2	2	2			23	Задания для самостоятельной работы
2	Методы исследования, основанные на взаимодействии электронов и ионов с поверхностью твердого тела. Методы исследования химического состава и морфологии поверхности	2	2	1		1	24	Задания для самостоятельной работы
3	Дифракционные и спектральные методы при электронном воздействии. Рентгеновская дифрактометрия	2	2	2			22	Задания для самостоятельной работы
4	Оптическая и колебательная спектроскопия. Классификация возможностей методов.	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. Общая классификация методов исследования твердых тел и наноструктур.

Введение. Общая классификация методов исследования твердых тел и наноструктур. Физические процессы, сопровождающие попадание пучка электронов и ионов на поверхность. Воздействие излучения с различной длиной волны на поверхность. Методы исследования, основанные на взаимодействии электронов, ионов, различных излучений с поверхностью твердого тела.

Тема 2. Методы исследования, основанные на взаимодействии электронов и ионов с поверхностью твердого тела. Методы исследования химического состава и морфологии поверхности

Реакция поверхности и объема твердого тела на воздействие пучка электронов и ионов с различной энергией. Методы исследования химического состава поверхности твердых тел после ионного распыления. Методы анализа химического состава. Вторичная ионная масс-спектрометрия. Оже-электронная спектроскопия. EDX-метод. Микроскопические методы исследования морфологии поверхности. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия. Режимы наблюдения и технические возможности визуализации объектов.

Тема 3. Дифракционные и спектральные методы при электронном воздействии. Рентгеновская дифрактометрия

Метод дифракции медленных электронов. Метод дифракции отраженных быстрых электронов. Метод неупругой дифракции медленных электронов. Сравнительная характеристика методов.

Метод Оже-электронной спектроскопии. Метод спектроскопии потерь энергии ионов. Возможности методов, сравнительная характеристика. Альтернативные методы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. УФ-электронная спектроскопия.

Возможности рентгеновской дифрактометрии при описании кристаллических структур.

Тема 4. Оптическая и колебательная спектроскопия. Классификация возможностей методов.

Оптическая спектроскопия. Спектроскопия с использованием вращения света. Спектры магнитного кругового дихроизма (МКД). Особенности колебаний атомов на поверхности твердого тела или кластеров, адсорбированных на поверхности. Методы отражательно-адсорбционной инфракрасной спектроскопии (ОАИКС), спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС), спектроскопия характеристических потерь энергии электронов высокого разрешения (СХПЭЭВР).

Общее рассмотрение возможностей методов для описания кристаллической и электронной структуры, химического состава. Примеры характеристики нанобъектов.

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 «Экспериментальные методы изучения поверхности и объема твердых тел» 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

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

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

- Ищенко А. А. , Гиричев Г. В. , Тарасов Ю. И. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 616 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114479.html>

- Власов А. И., Елсуков М, Панфилов Ю. В. Методы микроскопии: учеб. пособие - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 280 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703834923.html>

б) дополнительная литература

- Яловега Г. Э., Мазурицкий М. И., Козаков А. Т. и др. Рентгеноспектральные методы исследования материалов на основе синхротронного излучения: учебное пособие. - Ростов н/Д: ЮФУ, 2019. - 146 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927532025.html>

- Хайруллин А. Р. И др. Микроструктурный анализ энергонасыщенных материалов методами оптической и электронной микроскопии : методические указания. - Казань: КНИТУ, 2018. - 60 с

<https://www.studentlibrary.ru/book/KNITU2021031508.html>

- Филимонова Н. И. Величко А. А. , Фадеева Н. Е. Методы электронной спектроскопии: учебное пособие. - Новосибирск. : СибГУТИ, 2016. – 68 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/SibGUTI-024.html>

- Филимонова Н. И. Величко А. А. , Фадеева Н. Е. Методы электронной микроскопии: учебное. - Новосибирск. : СибГУТИ, 2016. - 61 с.

<https://www.studentlibrary.ru/book/SibGUTI-023.html>

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
«Экспериментальные методы изучения поверхности и объема твердых тел»
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. Общая классификация методов исследования твердых тел и наноструктур

- опишите физические процессы, сопровождающие воздействие пучка электронов на поверхность твердого тела;

Тема 2. Методы исследования, основанные на взаимодействии электронов и ионов с поверхностью твердого тела. Методы исследования химического состава и морфологии поверхности

- дайте характеристику методу вторичной ионной масс-спектропии;
- опишите возможности метода EDX при изучении твердотельных структур;

Тема 3. Дифракционные и спектральные методы при электронном воздействии. Рентгеновская дифрактометрия

- сравните возможности метода ВИМС и Оже-электронной спектроскопии;
- опишите методику определения межплоскостных расстояний в методе рентгеновской дифрактометрии;

Тема 4. Оптическая и колебательная спектроскопия. Классификация возможностей методов

- опишите метод комбинационного рассеяния света; с какой глубины собирается информация в данном методе?

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:

Введение. Общая классификация методов исследования твердых тел и наноструктур. Физические процессы, сопровождающие попадание пучка электронов и ионов на поверхность. Воздействие излучения с различной длиной волны на поверхность. Методы исследования, основанные на взаимодействии электронов, ионов, различных излучений с поверхностью твердого тела.

Реакция поверхности и объема твердого тела на воздействие пучка электронов и ионов с различной энергией. Методы исследования химического состава поверхности твердых тел после ионного распыления. Методы анализа химического состава. Вторичная ионная масс-спектрометрия. Оже-электронная спектроскопия. EDX-метод. Микроскопические методы исследования морфологии поверхности. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия. Режимы наблюдения и технические возможности визуализации объектов.

Метод дифракции медленных электронов. Метод дифракции отраженных быстрых электронов. Метод неупругой дифракции медленных электронов. Сравнительная характеристика методов.

Метод Оже-электронной спектроскопии. Метод спектроскопии потерь энергии ионов. Возможности методов, сравнительная характеристика. Альтернативные методы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. УФ-электронная спектроскопия.

Возможности рентгеновской дифрактометрии при описании кристаллических структур.

Оптическая спектроскопия. Спектроскопия с использованием вращения света. Спектры магнитного кругового дихроизма (МКД). Особенности колебаний атомов на поверхности твердого тела или кластеров, адсорбированных на поверхности. Методы отражательно-адсорбционной инфракрасной спектроскопии (ОАИКС), спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС), спектроскопия характеристических потерь энергии электронов высокого разрешения (СХПЭЭВР).

Общее рассмотрение возможностей методов для описания кристаллической и электронной структуры, химического состава. Примеры характеристики нанообъектов.