Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Аналитические методы исследования материалов

по направлению подготовки

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки:
Приборы и устройства нанопотоники

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.П. Коханенко

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-3 Способен приобретать и использовать новые знания в своей предметной области на основе информационных систем и технологий, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач.

ПК-3 Способность к выбору оптимального метода и разработке программ экспериментальных исследований, проведению оптических, фотометрических и электрических измерений с выбором технических средств и обработкой.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 3.2 Предлагает новые идеи и подходы к решению инженерных задач с использованием информационных систем и технологий

ИПК 3.1 Разрабатывает методики исследований

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины **Аналитические методы исследования материалов** являются:

- приобретение студентами глубоких знаний о методах исследования поверхности и приповерхностной области наноматериалов и наноструктур;
- развитие навыков анализа поверхности полупроводниковых материалов с помощью известных физических явлений, протекающих при воздействии первичного пучка фотонов, электронов, ионов на твердое тело;
- понимание роли аналитических методов зависимости характеристик вторичной эмиссии от элементного состава и структуры исследуемого вещества.

2. Место дисциплины в структуре бакалаврской подготовки

Данная дисциплина относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули) профессионального цикла магистерской программы **Приборы и устройства нанофотоники**.

Для освоения дисциплины студент должен обладать:

- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- способностью владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области микро и наноэлектроники;
- способностью оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования;
- способностью проектировать микроэлементы и микроустройства, основанные на различных физических принципах действия;
- способностью разрабатывать элементы и устройства фотоники и оптоинформатики на основе существующей элементной базы микро и наноэлектроники.

От студента требуется знания из общей физики, физики твердого тела, квантовой механики, нелинейной оптики и оптического материаловедения, приобретенные в процессе бакалаврской подготовки.

Освоение данной дисциплины необходимо для проведения научно-исследовательской работы в области нанофотоники.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

- способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);

- способность действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения (ОК-2);
- способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3).
- способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);
- способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);
- готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-1);
- способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-2);
- способность применять современные методики исследования основных физико-химических свойств оптических стекол и кристаллов, методики прогнозирования оптических и физико-химических параметров новых материалов (ПК-7).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**

методы ионной и электронной спектроскопии, электронный микроанализ, дифракционные и ядерные методы анализа, растровую туннельную и силовую микроскопию.

- **Уметь:**

пользоваться полученными знаниями для постановки и интерпретации результатов экспериментов в области низкоразмерных материалов и структур нанофотоники.

- **Владеть:**

навыками оценки технологичности конструкторских решений с точки зрения контроля качества наноструктурированных материалов;

навыками разработки контроля качества технологических процессов режимов производства элементов, устройств и систем нанофотоники;

навыками работы и интерпретации результатов атомно-силовой микроскопии;

навыками нахождения оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества.

4. Структура и содержание дисциплины

1. Введение. Тенденции развития современных технологий нанофотоники. Исторический обзор. Основные понятия, единицы измерения. Роль аналитических методов в научных исследованиях, технологических и производственных процессах наноструктурированных материалов

2. Ионная спектроскопия. Спектроскопия обратного рассеяния. Определение распределения по глубине с помощью POP. Каналирование ионов высокой энергии. Вторичная ионная масс-спектрометрия. Ионное перемешивание. Избирательное распыление элементов по глубине.

3. Электронная спектроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Электронная Оже-спектроскопия. Спектроскопия потенциала появления. Пороговые методы. Электронный микроанализ. Растровая электронная спектроскопия.

4. Дифракционные методы исследования поверхности. Параметры дифракции. Дифракция электронов низких энергий. Дифракция рентгеновских лучей при скользящем падении. Просвечивающая электронная микроскопия.

5. Ядерные методы анализа. Радиоактивный распад. Получение радионуклидов. Активационный анализ. Мгновеннорадиационный анализ. Метод резонанса. Электрон-позитронная спектроскопия. Кривые углового распределения аннигиляционных фотонов.

6. Сканирующая зондовая микроскопия. Техника сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Принципы работы. Методы СЗМ. Атомно-силовая микроскопия. Электросиловая микроскопия. Магнито-силовая микроскопия. Ближнеполевая оптическая микроскопия.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 108 часов

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	Лаб. работы	семинары	Самост. работа	
1	Введение	1	1	2	-	4	12	
2	Ионная спектроскопия	1	2 7-8	2	-	4	12 6	Устный опрос
3	Электронная спектроскопия	1	3	2	-	4	12	Устный опрос
4	Дифракционные методы исследования поверхности	1	4-5	2	-	4	12	Устный опрос
5	Ядерные методы анализа	1	5-6 13	2	-	4	12	Устный опрос
6	Сканирующая зондовая микроскопия	1	6	2		4	12	Отчет по лабораторным работам
7	Итоговый контроль по дисциплине	1	20	-	-			Зачет с оценкой
ИТОГО				12		24	72	

5. Образовательные технологии

При реализации дисциплины используются проблемные лекции, лекции-дискуссии, занятия с применением затрудняющих условий. При проведении семинаров предусматривается участие ведущих специалистов НОЦ «Функциональные материалы радио- и оптоэлектроники» и «Физика и химия высокоэнергетических систем».

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Видами самостоятельной работы обучающегося по данной дисциплине являются:

- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- подготовка докладов на семинарах;
- подготовка к зачету.

Темы семинаров

1. Требования к метрологическому обеспечению технологических процессов в фотонике.
2. Влияние каналирования на результаты POP.

3. Проблемы вторичной ионной масс-спектрометрии в материалах фотоники.
4. Сравнение возможностей различных методов электронной спектроскопии.
5. Возможности дифракционных методов для исследования материалов фотоники.
6. Сравнение электронных и дифракционных методов исследования материалов.
7. Техника позитронной спектроскопии.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

- 1 Основные методы ионной спектроскопии.
- 2 Спектроскопия обратного рассеяния.
- 3 Определение распределения по глубине с помощью ROP.
- 4 Каналирование ионов высокой энергии.
- 5 Вторичная ионная масс-спектрометрия.
- 6 Селективное травление. Ионное перемешивание.
- 7 Физические основы электронной спектроскопии.
- 8 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
- 9 Электронная Оже-спектроскопия.
- 10 Спектроскопия потенциала появления. Пороговые методы.
- 11 Электронный микроанализ.
- 12 Растровая электронная спектроскопия.
- 13 Дифракционные методы исследования поверхности.
- 14 Основные физические явления лежащие в основе ядерных методов анализа.
- 15 Активационный анализ.
- 16 Мгновеннорadiационный анализ.
- 17 Метод резонанса.
- 18 Электрон-позитронная спектроскопия.
- 19 Туннельный микроскоп.
- 20 Атомно-силовая микроскопия.

Примерный перечень вопросов к зачету

- 1 Основные методы ионной спектроскопии.
- 2 Атомно-силовая микроскопия.
- 3 Спектроскопия обратного рассеяния.
- 4 Туннельный микроскоп.
- 5 Определение распределения по глубине с помощью ROP.
- 6 Электронный микроанализ.
- 7 Каналирование ионов высокой энергии.
- 8 Дифракционные методы исследования поверхности.
- 9 Вторичная ионная масс-спектрометрия.
- 10 Основные физические явления лежащие в основе ядерных методов анализа.
- 11 Селективное травление. Ионное перемешивание.
- 12 Активационный анализ.
- 13 Физические основы электронной спектроскопии.
- 14 Электрон-позитронная спектроскопия вакансионных дефектов.
- 15 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
- 16 Определение распределения по глубине с помощью ROP.
- 17 Электронная Оже-спектроскопия.
- 18 Метод резонанса.
- 19 Спектроскопия потенциала появления. Пороговые методы.
- 20 Каналирование ионов высокой энергии.
- 21 Растровая электронная спектроскопия.

- 22 Вторичная ионная масс-спектрометрия.
- 23 Мгновеннорadiационный анализ.
- 24 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
- 25 Спектроскопия обратного рассеяния.
- 26 Активационный анализ.
- 27 Электрон-позитронная спектроскопия.
- 28 Электронная Оже-спектроскопия.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Терри Л. Альфорд, Леонард К. Фельдман, Джеймс В. Майер Фундаментальные основы анализа нанопленок / Москва: Научный мир, 2012, 390 с.
2. Гаврилов А. В., Головашкин Д. Л., Досколович Л. Л. и др. Дифракционная нанофотоника / : Физматлит, 2011. 679 с.
3. Б. Фульц, Дж. М. Хау Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Москва: Техносфера, 2011, 903 с.
4. Анашина О. Д., Андрюшечкин С. Е., Аневский С. И. и др. Метрологическое обеспечение нанотехнологий и продукции nanoиндустрии: Москва : Логос , 2011, 590 с.
5. В. И. Сырямкин Современные методы исследования материалов и нанотехнологий Электронный ресурс: учебное пособие; Том. гос. ун-т, Ин-т дистанционного образования Томск: ИДО ТГУ, 2010. Электронный ресурс <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000405282>

а) дополнительная литература

- Рязанов М.И., Тилинин И.С. Исследование поверхности по обратному рассеянию частиц.-М.: Энергоатомиздат,1985.
- Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. - М.: Мир,1989.
- Кумахов М.А., Комаров Ф.Ф. Энергетические пробеги и пробеги ионов в твердых телах.- Минск: Изд-во БГУ,1979.
- Нефедов В.И., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел.- М.: Наука, 1983.
- Рыков С.А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Техническая физика" СПб.: Наука, - 2001, 53 с.

Интернет-ресурсы

1. Пакет «Microsoft Office»
2. Электронно-библиотечная система издательства Лань» <http://e.lanbook.com/>
3. Электронная библиотека ТГУ: <http://www.lib.tsu.ru/ru>.
4. <http://eLIBRARY.RU>
5. <http://lib.e-science.ru/>
6. Электронная библиотека диссертаций (РГБ) <http://diss.rsl.ru/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При освоении дисциплины используются видеофильмы и презентации по отдельным разделам дисциплины, компьютерные классы РФФ ТГУ с доступом к ресурсам Научной

библиотеки ТГУ, в том числе отечественным и зарубежным периодическим изданиям, и сети Интернет.