

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)

Институт информатики, электроники и робототехники
Кафедра электроники и цифровых информационных технологий

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

**Руководитель образовательной
программы**

Директор ИИЭ и Р

_____ **Тешев Р.Ш.**

_____ **Н.В. Черкесова**

«_____» _____ 2021 г.

«_____» _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Методы низкоэнергетической электронной и ионной спектроскопии»

Направление подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника _____
(код и наименование направления подготовки)

Профиль: **Современные информационные технологии в электронной технике**

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Форма обучения – **очная**

Нальчик 2021

Рабочая программа дисциплины «**Методы низкоэнергетической электронной и ионной спектроскопии**»– Нальчик: ФГБОУ КБГУ, 2021.

Рабочая программа предназначена для преподавания дисциплины вариативной части студентам очной формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника в 8 семестре.

Рабочая программа составлена с учетом федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «12» марта 2015 г. № 218.

Содержание

1.	Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)	4
2.	Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО	5
3.	Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	5
4.	Содержание и структура дисциплины (модуля)	5
	<i>Структура дисциплины (модуля)</i>	7
5.	Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации	8
5.1.	<i>Коллоквиум</i>	8
	<i>Вопросы выносимые на коллоквиум</i>	8
5.2.	Образцы тестовых заданий	11
	<u>Методические рекомендации по подготовке к тестированию</u>	12
	<u>Критерии оценивания</u>	10
5.3.	Задания для лабораторных занятий	14
6.	Промежуточная аттестация	15
7.	Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности	15
8.	Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)	16
8.1	<i>Основная литература</i>	16
8.2	<i>Дополнительная литература</i>	16
8.	<i>Периодические издания</i>	16
8.4	<i>Интернет-ресурсы</i>	17
9.	Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий.	17
10.	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	18
	Лист изменений (дополнений) в рабочей программе дисциплины (модуля)	

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

1.1. Цель преподавания дисциплины.

В последние годы в физической электронике достигнуты значительные успехи в области исследования процессов, происходящих при низкоэнергетической бомбардировке электронами и ионами поверхностей полупроводниковых материалов, удалось понять многие фундаментальные явления в этой области электроники и поставить ее на службу другим разделам науки.

Одной из важнейших и очень перспективных применений вторично электронной и ионной спектроскопии и эмиссионных явлений при электронной и ионной бомбардировке, является анализ с их помощью ряда свойств поверхности твердого тела: определение элементного и химического составов, расположение атомов на поверхности и в приповерхностном слое кристалла, степень его упорядоченности, электронной структуры поверхностного слоя и т.д.

Из-за уменьшения габаритов приборов (микроминиатюризация) роль поверхности в современной технике стала огромной и уже невозможно оперировать только параметрами, описывающими объемные свойства материала. В связи с этим в последние годы разрабатываются различные методы диагностики поверхности. Среди этих методов важную роль стали играть методы анализа поверхности при помощи низкоэнергетических электронных и ионных пучков.

В связи с этим, целями настоящего курса являются:

1. Освоение студентами физических основ методов низкоэнергетических электронных и ионных спектрометров для анализа наноразмерных полупроводниковых материалов с применением электронных и ионных пучков различных энергий и экспериментальное осуществление.
2. Показать возможности использования электронной и ионной бомбардировки твердого тела для диагностики поверхности.
3. Ознакомить студентов с достижениями и перспективами новых методов, с последними работами в этой области физической электроники.
4. Освоить экспериментальную методику диагностики поверхности электронным и ионным пучками.
5. Получить сведения о составе поверхности и по глубине полупроводниковой структуры.

Курс базируется на знаниях курсов математического цикла, общей и теоретической физики, теоретических основ электроники, физики атомных и электронных процессов на поверхности полупроводников, кристаллофизики и методов исследования структур, физических основ полупроводниковых материалов, приборов и интегральных схем и др.

1.2. Для достижения указанной выше цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сообщить студентам о процессах в твердом теле и вторично-эмиссионных явлениях, происходящих при взаимодействии пучков электронов и ионов с твердым телом.
2. Дать студентам конкретные сведения о физических основах методов диагностики поверхности с применением ионных пучков.
3. Дать сведения о возможностях применения методов электронной и ионной спектроскопии в технологических процессах изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем.
4. Изложить современные достижения и перспективы развития технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов с применением вторично-эмиссионных методов анализа, в частности, в нанотехнологии.
5. Дать практические навыки в использовании методов электронной и ионной

спектроскопии для анализа полупроводниковых материалов.

6.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВПО.

Дисциплина включена в вариативную часть обязательных дисциплин **Б1.В.12** учебного плана по направлению подготовки ВО 11.03.04 Электроника и наноэлектроника профиль: «Микроэлектроника и твердотельная электроника».

Изучение дисциплины «**Методы низкоэнергетической электронной и ионной спектроскопии**» базируется на следующих, ранее изучаемых, дисциплинах: «Физика», «Математика», «Материалы электронной техники», «Теоретические основы электротехники» «Вакуумная и плазменная электроника».

Освоение данной дисциплины, в свою очередь, необходимо для успешного усвоения, в последующем, специальных курсов по дисциплинам: «Микроэлектроника», «Твердотельные элементы СВЧ - электроники», «Проектирование и конструирование полупроводниковых приборов и интегральных схем» и других, а также производственной практики.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

- ОК-7 – способность к самоорганизации и самообразованию.
- ПК-2 – Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

В результате изучения дисциплины (модуля) «Твердотельная электроника» студент должен:

знать:

- основные научно-технические проблемы в своей предметной области;
- простейшие физические и математические модели;
- стандартные программные средства компьютерного моделирования;
- основы прикладных дисциплин.

уметь:

- систематизировать научно-техническую информацию по исследуемой проблеме с использованием компьютерных технологий.
- анализировать полученные знания для применения их в реальном исследовании.

владеть:

- навыками выбора методов и средства решения научно-технических проблем в своей предметной области;
- технологиями приобретения, использования и обновления полученных знаний с целью дальнейшего роста в профессиональной деятельности.

4. Содержание и структура дисциплины (модуля)

В таблице 1 приводится описание содержания дисциплины, структурированное по разделам, с указанием по каждому разделу формы текущего контроля: защита лабораторной работы (ЛР), коллоквиум (К), тестирование (Т).

Таблица 1

№ разд ела	Наименова- ние раздела	Содержание раздела	Компе- тенции	Форма теку- щего контро- ля
1	2	3	4	5
1	Классифика- ция методов электронной спектро- скопии.	Введение. Программа курса, вид занятий, ре- комендованная литература и ее краткая харак- теристика, контрольные мероприятия. Этапы развития методов низкоэнергетических элек- тронных и ионных спектроскопии для диагно- стики поверхностей полупроводниковых мате- риалов. Основные процессы, происходящие при бомбардировке вещества электронами и ионами и возможности их использования в технологии производства полупроводниковых приборов. Тема 1. Понятие электронного спектра. Классификация методов электронной спектро- скопии. Особенности анализа поверхности твёрдого тела. Схема электронного спек- трометра. Техника получения высокого ваку- ума. Источники излучения. Характеристики энергоанализаторов. Детекто- ры излучения. Способы очистки поверхности проб в вакууме. Метрологические характери- стики методов электронной спектроскопии.	ОК-7	К,Т,ЛР
2	Методы электронной спектро- скопии	Неупругое рассеяние электронов и поверхност- ная чувствительность. Электронные спек- трометры. Распределение электронов по энергии в методах электронной спектроскопии. 2. Рентгеновская фотоэлектронная спектро- скопия (РФЭС). Источники фотонов. Форма и сдвиги фотоэлектронных пиков. РФЭС —спек- троскопия остовных уровней. Структурные эффекты в РФЭС. 3. Электронная оже-спектроскопия (ЭОС). Основные Оже-процессы. Энергетические уровни, сдвиги и форма пиков. ЭОС как метод анализа состава поверхности. Пороговые методы. Спектроскопия потенциала появления (СПП). Спектроскопия ионизацион- ных потерь (СИП). Структурные эффекты в пороговых методах.		
3	Методы ионной спектро- скопии	4. Метод вторично-ионной масс-спектромет- рии (ВИМС). Физические основы метода ВИМС. Основные характеристики распыления и формулы, используемые при анализе кри- сталлов методом ВИМС. Характерные па- раметры установок ВИМС. Качественный и количественный анализ методом ВИМС. По- слойный анализ полупроводниковых структур.		

		Применение метода ВИМС в технологии производства полупроводниковых приборов.		
		<p>5. Метод спектроскопии обратно-рассеянных ионов низкой энергии (СОРИНЭ). Физические основы методов СОРИНЭ. Особенности спектров распределения вторичных ионов по энергиям. Изучение состава и структуры монокристаллов методом СОРИНЭ. Нейтрализация ионов. Исследование взаимодействия адсорбированных атомов с поверхностью монокристалла кремния методом СОРИНЭ. Изучение дефектной структуры поверхности кристаллов методом СОРИНЭ.</p> <p>6. Метод резерфордовского обратного рассеяния ионов (РОР). Основные концепции метода РОР. Чувствительность метода РОР для определения элементов с различной массой. Взаимосвязь энергии регулируемых частиц и глубины их рассеяния. Глубинное разрешение, достигаемое в экспериментах РОР. Применение метода РОР для анализа состава мишени: анализ тонкой пленки; анализ тонкопленочных слоистых структур; анализ массивных мишеней.</p>	ПК-2	К,Т,ЛР
		<p>Тема 7. Метод ионной оже-спектроскопии (ИОС). Эмиссия оже-электронов при ионном возбуждении. Ионизация веутренних оболочек атомов мишени. Неадиабатические переходы в квазимолекулярных системах. Сечение ионизации внутренних оболочек при ионно-атомных столкновениях. Структура спектров оже-электронов при ионном возбуждении. Оже-спектры химических соединений. Применение спектроскопии оже-электронов при ионном возбуждении для анализа поверхности твердых тел. Методические особенности ИОС. Сравнительная характеристика метода ИОС. Контроль присутствия на поверхности инородных частиц. Контроль за очисткой поверхности при ионном распылении. Измерение профилей концентрации по глубине.</p> <p>Тема 8. Спектроскопия фотонов ионного возбуждения. Метод ионно-фотонное спектроскопии (ИФС): механизм возникновения свечения; высвечивание рассеянных и выбитых частиц. Применение метода ИФС для анализа полупроводниковых структур: методика измерения интенсивности излучения; определение скорости вторичных возбужденных частиц; спектры ионно-фотонной эмиссии. Метод спектроскопии рентгеновских фотонов и ионного возбуждения.</p>	ПК-2	К,Т,ЛР

		Применение методов ионной спектроскопии для формирования систем металлизации и полупроводниковых структур в производстве п/п приборов.		
--	--	--	--	--

Структура дисциплины (модуля)

Таблица 2. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 часов).

Вид работы	Трудоемкость, часы	
	5 семестр	Всего
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Контактная работа (в часах):	60	60
<i>Лекционные занятия (Л)</i>	40	40
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	20	20
Самостоятельная работа (в часах):	57	57
Курсовая работа (КР)/ Курсовой проект (КП)		
Самостоятельное изучение разделов/тем		
Подготовка и прохождение промежуточной аттестации	27	27
Вид промежуточной аттестации	экзамен	

Таблица 3. Лекционные занятия

№ п/п	Тема
1.	Понятие электронного спектра.
2.	Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).
3.	Электронная оже-спектроскопия (ЭОС).
4.	Метод вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС).
5.	Метод спектроскопии обратно-рассеянных ионов низкой энергии (СОРИНЭ).
6.	Метод резерфордского обратного рассеяния ионов (РОР).
7.	Метод ионной оже-спектроскопии (ИОС).
8.	Спектроскопия фотонов ионного возбуждения.

Таблица 4. Лабораторные работы

№ п/п	Тема
1.	Изучение характерных ячеек Пеннинга с холодным катодом.
2.	Определение параметров ионного источника с ионизацией электронным ударом.
3.	Масс-сепарация первичного пучка ионов с помощью фильтра Вина.
4.	Исследование характеристик энергоанализатора ионов типа Юза-Рожанского.
5.	Масс-спектрометрический анализ остаточных газов.
6.	Масс-спектрометрия вторичных ионов полупроводниковых структур.
7.	Определение термодинамических характеристик поверхности используя профили распределения элементов.

Таблица 5. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№ п/п	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение
1.	Схема электронного спектрометра. Техника получения высокого вакуума.
2.	Источники излучения.
3.	Детекторы излучения.
4.	Метрологические характеристики методов электронной спектроскопии.
5.	Электронные спектрометры.
6.	Источники фотонов.

7.	Энергетические уровни, сдвиги и форма пиков. ЭОС как метод анализа состава поверхности.
8.	Пороговые методы.
9.	Применение метода ВИМС в технологии производства полупроводниковых приборов.
10.	Особенности спектров распределения вторичных ионов по энергиям.
11.	Нейтрализация ионов.
12.	Основные концепции метода РОР.
13.	Эмиссия оже-электронов при ионном возбуждении.
14.	Сравнительная характеристика метода ИОС.
15.	Спектроскопия фотонов ионного возбуждения.
16.	Метод спектроскопии рентгеновских фотонов и ионного возбуждения.

5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации

5.1. Коллоквиум

В семестре проводятся 3 коллоквиума, которые оцениваются по 8 баллов каждый.

Вопросы, выносимые на коллоквиум

Первый коллоквиум

1. ВАХ диодов с контактом Шоттки. Омический контакт. Этапы развития методов низкоэнергетических электронных и ионных спектроскопии для диагностики поверхностей полупроводниковых материалов.
2. Основные процессы, происходящие при бомбардировке вещества электронами и ионами и возможности их использования в технологии производства полупроводниковых приборов.
3. Понятие электронного спектра. Классификация методов электронной спектроскопии.
4. Особенности анализа поверхности твердого тела.
5. Схема электронного спектрометра.
6. Техника получения высокого вакуума.
7. Источники излучения.
8. Характеристики энергоанализаторов.
9. Детекторы излучения.
10. Способы очистки поверхности проб в вакууме.
11. Метрологические характеристики методов электронной спектроскопии.
12. Неупругое рассеяние электронов и поверхностная чувствительность.
13. Электронные спектрометры.
14. Распределение электронов по энергии в методах электронной спектроскопии.

Второй коллоквиум

1. Электронная оже-спектроскопия (ЭОС).
2. Основные Оже-процессы.
3. Энергетические уровни, сдвиги и форма пиков.
4. ЭОС как метод анализа состава поверхности.
5. Пороговые методы. Спектроскопия потенциала появления (СПП).
6. Спектроскопия ионизационных потерь (СИП).
7. Структурные эффекты в пороговых методах.
8. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС).
9. Источники фотонов.
10. Форма и сдвиги фотоэлектронных пиков.
11. РФЭС — спектроскопия основных уровней.
12. Структурные эффекты в РФЭС.

13. Метод вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС).
14. Физические основы метода ВИМС.
15. Основные характеристики распыления и формулы, используемые при анализе кристаллов методом ВИМС.
16. Характерные параметры установок ВИМС.
17. Качественный и количественный анализ методом ВИМС.
18. Послойный анализ полупроводниковых структур.
19. Применение метода ВИМС в технологии производства полупроводниковых приборов.

Третий коллоквиум

1. Метод спектроскопии обратно-рассеянных ионов низкой энергии (СОРИНЭ).
2. Физические основы методов СОРИНЭ.
3. Особенности спектров распределения вторичных ионов по энергиям.
4. Изучение состава и структуры монокристаллов методом СОРИНЭ.
5. Нейтрализация ионов. Исследование взаимодействия адсорбированных атомов с поверхностью монокристалла кремния методом СОРИНЭ.
6. Изучение дефектной структуры поверхности кристаллов методом СОРИНЭ.
7. Метод резерфордского обратного рассеяния ионов (РОР).
8. Основные концепции метода РОР. Чувствительность метода РОР для определения элементов с различной массой.
9. Взаимосвязь энергии регулируемых частиц и глубины их рассеяния.
10. Глубинное разрешение, достигаемое в экспериментах РОР. Применение метода РОР для анализа состава мишени: анализ тонкой пленки; анализ тонкопленочных слоистых структур; анализ массивных мишеней.
11. Метод ионной оже-спектроскопии (ИОС). Эмиссия оже-электронов при ионном возбуждении. Ионизация веутренних оболочек атомов мишени. Неадиабатические переходы в квазимолекулярных системах.
12. Сечение ионизации внутренних оболочек при ионно-атомных столкновениях. Структура спектров оже-электронов при ионном возбуждении. Оже-спектры химических соединений. Применение спектроскопии оже-электронов при ионном возбуждении для анализа поверхности твердых тел.
13. Контроль присутствия на поверхности инородных частиц. Контроль за очисткой поверхности при ионном распылении. Измерение профилей концентрации по глубине.
14. Метод ионно-фотонное спектроскопии (ИФС): механизм возникновения свечения; высвечивание рассеянных и выбитых частиц.
15. Применение метода ИФС для анализа полупроводниковых структур: методика измерения интенсивности излучения; определение скорости вторичных возбужденных частиц; спектры ионно-фотонной эмиссии.
16. Метод спектроскопии рентгеновских фотонов и ионного возбуждения.
17. Применение методов ионной спектроскопии для формирования систем металлизации и полупроводниковых структур в производстве п/п приборов.

Рекомендации при подготовке к коллоквиуму

- проработать конспекты лекций по вопросам коллоквиума;
- прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемым вопросам;
- ответить на вопросы коллоквиума;
- при затруднениях, проконсультироваться с преподавателем.

Критерии оценивания

Оценка			
Неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично

2 балла	4 балла	6 баллов	8 баллов
Студент не знает значительной части вопросов, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Студент поверхностно знает вопросы коллоквиума, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

5.2. Образцы тестовых заданий

S: В масс-спектрометрах применяется ... массфилтр.

+: квадрупольный

-: квадратурный

-: квадратный

-: квадратичный

-: квадрантный

-: квадрированный

I: Размеры

S: В методе ВИМС образец обычно имеет размеры в несколько

-: метров

+: миллиметров

-: микрометров

-: нанометров

I: Анализатор

S: Основной узел масс-спектрометра -

+: масс-анализатор

-: энергоанализатор

-: газоанализатор

I: Объектив

S: Для улучшения сбора вторичных ионов в приборах ВИМС используют ... объектив.

+: имерсионный

-: длиннофокусный

-: просветленный

I: Имерсионный

S: Для улучшения сбора вторичных ионов в приборах ВИМС используют имерсионный

+: объектив

-: окуляр

-: преобразователь

-: поляризатор

I: Цилиндр

S: Для сбора ионного тока применяют цилиндр

+: Фарадея

-: Франкля

-: Франклина

-: Франкенштейна

I: Квадруполь

S: Квадрупольный масс-анализатор имеет ... электрода.

-: 1

-: 2

-: 3

+: 4

I: Монополь

S: Монопольный масс-анализатор имеет ... электрода.

-: 1

+: 2

-: 3

-: 4

I: Внешний

S: Внешний электрод монополюсного фильтра

+: заземлен

-: имеет положительный потенциал

-: имеет отрицательный потенциал

I: Внутренний

S: Внутренний электрод монополюсного фильтра

-: заземлен

-: имеет положительный потенциал

+: имеет отрицательный потенциал

I: ВЭУ

S: Типичное усиление ВЭУ равно

-: 10

-: 100

+: 1000000

-: 1000000000000

-: 1

I: Массфильтр

S: В методе ВИМС используются ... массфильтры..

+: магнитный секторный

+: квадрупольный

+: монопольный

-: омега-тронный

I: Квадруполь

S: В квадрупольном масс-фильтре действует ... поле.

-: однородное магнитное

-: однородное электрическое

-: высокочастотное магнитное

+: высокочастотное электрическое

+: неоднородное электрическое

-: неоднородное магнитное

I: Магнитный

S: В магнитном секторном масс-фильтре действует ... поле.

+: однородное магнитное

-: однородное электрическое

-: высокочастотное магнитное

-: высокочастотное электрическое

-: неоднородное электрическое

-: неоднородное магнитное

Методические рекомендации по подготовке к тестированию

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

- а) готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине. Проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;
- б) четко выясните все условия тестирования заранее. Знать, сколько тестов Вам будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т.д.
- в) приступая к работе с тестами, внимательно и до конца прочтите вопрос и предлагаемые варианты ответов. Выберите правильные (их может быть несколько). На отдельном листке ответов выпишите цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;
- г) в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант.
- д) если Вы встретили чрезвычайно трудный для Вас вопрос, не тратьте много времени на него. Переходите к другим тестам. Вернитесь к трудному вопросу в конце.
- е) обязательно оставьте время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

Критерии оценивания

Оценка			
неудовлетворительно 0 баллов	удовлетворительно 3 балла	хорошо 4 балла	отлично 5 баллов
Менее 50 % правильно выполненных заданий.	50-70% правильно выполненных заданий.	71-85% правильно выполненных заданий.	86-100% правильно выполненных заданий.

5.3. Задания для лабораторных занятий

Лабораторный практикум является важным элементом обучения, т.к. прививает навыки самостоятельной работы на различном лабораторном оборудовании и умение пользоваться различными приборами и инструментами.

Пример типовой лабораторной работы «Определение параметров ионного источника с ионизацией электронным ударом»

Целью данной работы является исследование характеристик источника ионов в процессе ионизации рабочего газа с помощью электронного удара. В работе определяется зависимости выходного ионного тока от давления рабочего газа в ионизационной камере, предельные значения давления рабочего газа, а также зависимость ионного тока от значения подаваемого потенциала.

Методические рекомендации

Выполнение каждой лабораторной работы складывается из следующих этапов.

1. Самостоятельная подготовка студентов к работе. Перед началом работы студенты должны четко представлять себе цель работы, знать схему, метод измерения, физическую сущность ожидаемых результатов. Должен быть подготовлен протокол измерений, содержащий таблицы для записи результатов измерений и основные расчетные формулы. Студенты, не подготовившиеся к работе в соответствии с этими требованиями, к выполнению работы не допускаются.

2. Проведение эксперимента. Этот этап осуществляется в соответствии с методическими указаниями, которые содержатся в описании к каждой работе. Лабораторные измере-

ния на стенде студент может начать только после собеседования с преподавателем и получения соответствующего допуска. Любые изменения в схеме проводятся при отключении схемы от источника напряжения. Результаты измерения проверяются преподавателем.

3. Составление отчета о проделанной работе. К отчету о выполненной работе предъявляются следующие требования:

3.1. Отчет должен содержать исчерпывающие данные, как о цели работы, так и о результатах в следующей последовательности:

- а) Задание
- б) Схема установки и описание методики измерений
- в) Первичные экспериментальные результаты за подписью преподавателя
- г) Результаты обработки экспериментальных данных, включая графики, таблицы.
- д) Общие выводы о работе и заключение, о качестве исследованных материалов.

3.2. Текст отчета должен быть написан аккуратно и разборчиво от руки или представлен в виде распечатки, после компьютерной верстки. В обоих случаях текст должен представлять собой логическое изложение существа вопроса. Недопустимо приведение формул, таблиц без разъяснений всех обозначений и сокращений. Отчет должен быть понятен для каждого читающего без каких-либо дополнительных вопросов у составителей отчета.

3.3. Полученные зависимости должны сопровождаться теоретическим обоснованным объяснением причин влияющих на их ход, для чего в процессе составления отчета студент обязан по литературным источникам ознакомиться с материалом, который был объектом его исследования в лаборатории. Без такого ознакомления с испытуемым методом студент не будет в состоянии дать правильный анализ процессов, происходящих в материале при эксперименте.

4. Защита лабораторной работы с представлением отчета. При сдаче отчета студенты должны показать понимание сущности физических явлений в исследованных материалах, объяснить полученные результаты и сделать выводы. При работе в лаборатории необходимо строго выполнять все правила техники безопасности и указания преподавателя.

6. Промежуточная аттестация

Список основных вопросов к устному экзамену

1. Основные процессы, происходящие при бомбардировке вещества электронами и ионами и возможности их использования в технологии производства полупроводниковых приборов.
2. Классификация методов электронной спектроскопии.
3. Особенности анализа поверхности твердого тела.
4. Источники излучения.
5. Характеристики энергоанализаторов.
6. Детекторы излучения.
7. Способы очистки поверхности проб в вакууме.
8. Метрологические характеристики методов электронной спектроскопии.
9. Неупругое рассеяние электронов и поверхностная чувствительность.
10. Электронные спектрометры. Распределение электронов по энергии в методах электронной спектроскопии.
11. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Источники фотонов. Форма и сдвиги фотоэлектронных пиков.
12. Структурные эффекты в РФЭС.
13. Электронная оже-спектроскопия. Основные Оже-процессы.
14. ЭОС как метод анализа состава поверхности.
15. Пороговые методы. Спектроскопия потенциала появления (СПП). Спектроскопия ионизационных потерь (СИП). Структурные эффекты в пороговых методах.
16. Метод вторично-ионной масс-спектрометрии.

17. Основные характеристики распыления и формулы, используемые при анализе кристаллов методом ВИМС.
18. Физические основы метода ВИМС.
19. Качественный и количественный анализ методом ВИМС. Послойный анализ полупроводниковых структур.
20. Метод спектроскопии обратно-рассеянных ионов низкой энергии.
21. Особенности спектров распределения вторичных ионов по энергиям.
22. Физические основы методов СОРИНЭ.
23. Изучение состава и структуры монокристаллов методом СОРИНЭ.
24. Метод резерфордского обратного рассеяния ионов.
25. Чувствительность метода ROP для определения элементов с различной массой.
26. Основные концепции метода ROP.
27. Взаимосвязь энергии регулируемых частиц и глубины их рассеяния.
28. Глубинное разрешение, достигаемое в экспериментах ROP.
29. Применение метода ROP для анализа состава мишени: анализ тонкой пленки; анализ тонкопленочных слоистых структур; анализ массивных мишеней.
30. Метод ионной оже-спектроскопии.
31. Ионизация веутренних оболочек атомов мишени.
32. Эмиссия оже-электронов при ионном возбуждении.
33. Сечение ионизации внутренних оболочек при ионно-атомных столкновениях.
34. Структура спектров оже-электронов при ионном возбуждении.
35. Оже-спектры химических соединений.
36. Сравнительная характеристика метода ИОС.
37. Спектроскопия фотонов ионного возбуждения.
38. Метод ионно-фотонное спектроскопии: механизм возникновения свечения; высвечивание рассеянных и выбитых частиц.
39. Применение метода ИФС для анализа полупроводниковых структур: методика измерения интенсивности излучения; определение скорости вторичных возбужденных частиц; спектры ионно-фотонной эмиссии.
40.). Метод спектроскопии рентгеновских фотонов и ионного возбуждения.

Методические рекомендации при подготовке к экзамену

Подготовка студентов к экзамену включает проработку лекций, в течении семестра и непосредственную подготовку в дни, предшествующие экзамену, включая, конечно, подготовку к коллоквиумам, тестированию, выполнению лабораторных работ и их защите.

Для подготовки к ответам на экзаменационные вопросы (они выдаются в конце семестра) студент должен использовать не только курс лекций, но и основную и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы.

В ходе подготовки к экзамену студенту необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания изучаемых вопросов. А это достигается не простым заучиванием, а усвоением прочных систематизированных знаний аналитическим мышлением. Следовательно, непосредственная подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала.

Критерии оценивания

Оценка			
неудовлетворительно 0 баллов	удовлетворительно 3 балла	хорошо 4 балла	отлично 5 баллов
Посещение менее 50	Посещение не менее	Посещение не менее	Посещение не менее

% лекционных и практических занятий.	60% лекционных и практических занятий.	70 % лекционных и практических занятий.	85% лекционных и практических занятий.
Студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы.	Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос.	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

7. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Таблица 6. Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке.

Результаты обучения (компетенции)	Основные показатели оценки результатов обучения	Вид оценочного материала
Способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7).	Знает и понимает основные научно-технические проблемы в своей предметной области. Умеет систематизировать научно-техническую информацию по исследуемой проблеме с использованием компьютерных технологий. Владеет навыками выбора методов и средства решения научно-технических проблем в своей предметной области.	Коллоквиум Тестирование Выполнение и защита лабораторных работ
способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения. (ПК-2).	Знает простейшие физические и математические модели; стандартные программные средства компьютерного моделирования; основы прикладных дисциплин. Умеет анализировать полученные знания для применения их в реальном исследовании. Владеет технологиями приобретения, использования и обновления полученных знаний с целью дальнейшего роста в профессиональной деятельности	Коллоквиум Тестирование Выполнение и защита лабораторных работ

8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Основная литература:

Экман Р., Зильберинг Е., Вестман-Бринкмальм Э., Край А. Масс-спектрометрия: аппаратура, толкование и приложения. Москва: Техносфера, 2013. – 368 с. http://www.technosphera.ru/files/book_pdf/0/book_306_769.pdf
 Курбанов М., Кутлиев У. Распыление кристаллов при бомбардировке моно- и полиатомными ионами. Экспериментальные результаты. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013, 128 с. <https://www.lap-publishing.com/catalog/details//store/gb/book/978-3-659-35664-3/>
 Кармоков А.М., Молоканов О.А., Созаев В.А., Дедегкаева Л.М. Вторично-ионная масс-спектрометрия в исследованиях материалов электронной техники. Владикавказ. 2012, 85 с.

8.2 Дополнительная литература:

- Черепин В.Т. “Ионный зонд”, Наукова думка, 1990.
- Комаров Ф.Ф., Кумахов М.А. и др. “Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками”, Минск, 1987.
- Аброян И.А. и др. “Физические основы электронной и ионной техники”, М.: Высшая школа, 1984.
- Поп С.С., Белик С.Ф., Дробич В.Г., Ферлечер В.Х. “Ионно-фотонная эмиссия металлов”, Ташкент, из-во “ФАН”, 1989, с.164-176.
- Дорожкин А.А. и др. “Ионная оже-спектроскопия”, Ленинград, 1983.
- Петров Н.Н. и др. “Диагностика поверхностей с помощью ионных пучков”, из-во Ленинградского ун-та, 1977.
- Волков С.С. и др. “Спектроскопия обратно-рассеянных ионов низких энергий”. Обзоры по электронной технике, серия 7, вып. 15 (820), 1981.
- Электронная и ионная спектроскопия твердых тел. М.: Мир, 1981.
- Фрейдман Л., Мойер Д. “Основы анализа поверхностей и тонких пленок”, М.: Мир, 1981.
- Хим. Физика поверхности твердого тела. М.: Мир, 1980.
- Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции (под ред. Дж. Поута, К.Ту, Дж.Мейера). М.: Мир, 1982.
- Зарубежная электронная техника, №9, 10, 1986.
- “Распыление твердых тел ионной бомбардировкой”, под ред. Р.Бериша, М.: Мир, 1986.

8.3 Периодические издания.

Научные журналы:

1. Успехи физических наук.
 2. Физика твердого тела.
 3. Известия АН РФ, Серия физическая.
 4. Неорганические материалы.
- и др.

8.4. Интернет-ресурсы

Электронная библиотека КБГУ<http://lib.kbsu.ru>

единое окно доступа к образовательным ресурсам.....<http://window.edu.ru>

Информационно-справочный портал.....library.ru

Публичная электронная библиотека.....[Public- library.narod.ru](http://Public-library.narod.ru)

Российский общеобразовательный портал.....www.school.edu.ru

Федеральный портал «Российское образование».....www.edu.ru

Энциклопедии, словари, справочники.....www.enciklopedia.by.ru

Российская государственная библиотека (РГБ).....E-mail: post@rsl.ru

Библиотека Российской академии наук (БАН).....E-mail: ban@info.rasl.spb.ru

<http://www.ban.ru>

Методические указания к лабораторным занятиям

1. Учебное пособие к лабораторным работам по теме «Методы диагностики материалов и изделий электронной техники с помощью ионных пучков» Нальчик, КБГУ, 2015 г.
Составили: Кармоков А.М., Кармокова Р.Ю., Дышекова А.Х.
9. Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий
 1. Студенты имеют доступ к единому образовательному portalу, где могут в открытом доступе пользоваться ресурсами учебно-методической литературы, являющимися разработками ведущих ВУЗОВ России.
 2. Для рейтингового контроля используется система компьютерного тестирования на базе программного обеспечения Moodle.

3. При выполнении лабораторного практикума студенты в обязательном порядке проводят обработку экспериментальных данных с применением программных сред Microsoft Excel, MathCad.
4. В рамках обеспечения применения компьютерных технологий в образовательном процессе имеются специализированные компьютерные классы с современным программным обеспечением и имеющим выход в Интернет

9. Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий

1. Студенты имеют доступ к единому образовательному portalу, где могут в открытом доступе пользоваться ресурсами учебно-методической литературы, являющимися разработками ведущих ВУЗОВ России.
2. Для рейтингового контроля используется система компьютерного тестирования на базе программного обеспечения Moodle.
3. При выполнении лабораторного практикума студенты в обязательном порядке проводят обработку экспериментальных данных с применением программных сред Microsoft Excel, MathCad.
4. В рамках обеспечения применения компьютерных технологий в образовательном процессе имеются специализированные компьютерные классы с современным программным обеспечением и имеющим выход в Интернет.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническую базу для проведения занятий по дисциплине составляют:

- специализированная аудитория, используемая при проведении занятий лекционного типа №238, оснащенная мультимедийным проектором и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы;
- рабочее место преподавателя;
- рабочие места студентов.

Мультимедийная презентация, сопровождающая лекцию, позволяет преподавателю акцентировать внимание студенческой аудитории на ключевых вопросах лекции.

Дисциплина обеспечена:

- тестовыми материалами в электронной обучающей системе «Moodle» (Открытый университет);
- книжным фондом библиотеки;
- электронными версиями лекций и учебников.

Лабораторные занятия проводятся в лаборатории №153 «Физика конденсированного состояния», оснащенной необходимым оборудованием и стендами для изучения структуры и свойств твердых тел.

Студенты имеют доступ через Интернет доступ к электронной обучающей системе «Moodle» (Открытый университет), которая позволяет размещать электронные учебные курсы в свободном доступе для студентов университета.

При проведении занятий лекционного типа, семинарских занятий используются:

лицензионное программное обеспечение:

- Продукты Microsoft (Desktop Education ALNG LicSaPk OLVS Academic Edition Enterprise) подписка (Open Value Subscription);
 - Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security Стандартный Russian Edition;
 - AltLinux (Альт Образование 8);
- свободно распространяемые программы:

