Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н. Хрусталев В. А.
“___”_____ _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

Курс: 1, семестры : 1 2

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр	
№	**Вид деятельности**	**1**	**2**
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	1	3
2	Всего часов	36	108
3	Всего занятий в контактной форме, час.	26	63
4	Лекции, час.	18	18
5	Практические занятия, час.	0	36
6	Лабораторные занятия, час.	0	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	6	10
8	Аттестация, час.	2	2
9	Консультации, час.	6	7
10	Самостоятельная работа, час.	10	45
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	контр.	РГЗ
12	Вид аттестации	З	Э

Новосибирск 2017

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №990 от 09.09.2015 г. , дата утверждения: 05.10.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

доцент, к.т.н. Остертак Д. И.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

***Компетенция ФГОС*: ПК.2 готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты; *в части следующих результатов обучения*:**
з1. знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем
з2. знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях
з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах разделах фаз в различных нано- и микросистемах
у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения
***Компетенция ФГОС*: ПК.3 готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники; *в части следующих результатов обучения*:**
з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	**Формы организации занятий**
Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов	
ПК.2.з1 знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	
1.методику проведения анализа	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.з2 знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях	
2.устройство и принцип работы приборов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.з3 знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах разделах фаз в различных нано- и микросистемах	
3.основные виды и свойства нанообъектов, классификацию наноматериалов, условия наблюдения квантово-размерных эффектов	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.3.з5 знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	
4.теоретические принципы, положенные в основу методов исследования структуры и свойств материалов, достоинства и ограничения методов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.у4 уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	
5.выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие методы, исходя из задач конкретного исследования	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.2.з1 знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	
6.правильно выбирать методы диагностики для решения задач исследования поверхности материалов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.з2 знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях	
7.осуществлять сбор, обработку и анализ данных, полученных в ходе экспериментальных исследований;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 1				
Дидактическая единица: Общая характеристика методов диагностики поверхности				
1. Введение. Проблемы метрологии в нанотехнологии. Особенности наноматериалов. Основы классификации и типа структур наноматериалов. Физические причины специфики наноматериалов и доминирующая роль поверхности. Основные характеристики поверхности твердых тел. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации	0	3	3, 4	
Дидактическая единица: Дифракционные методы исследования				

2. Дифракция электронов и сфера Эвальда. Кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда. Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Поверхностная чувствительность метода. Схема эксперимента. Дифракционная картина - проекция обратной двумерной решетки на плоскость экрана. Аппаратура и инструментальные ограничения метода. Интерпетация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация . Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Аппаратура и инструментальные ограничения метода ДОБЭ. Сравнительный анализ методов ДОБЭ и ДМЭ. Анализ картин ДОБЭ."Преимущества метода для контроля процесса роста пленки непосредственно в камере установки МЛЭ. Поверхностная чувствительность метода. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины." Применение ДОБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ. Осцилляции интенсивности.	2	4	1, 2, 4, 5, 6, 7	дискуссия на заданную тему
Дидактическая единица: Методы электронной спектроскопии				
3. Теоретические основы методов электронной спектроскопии. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии.Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Плазмоны. Сечения процессов и пробеги электронов в твердых телах. Глубина выхода электронов и поверхностная чувствительность методов электронной спектроскопии.	2	3	1, 4, 5, 6, 7	Дискуссия на данную тему

4. Общие физические принципы методов фотоэлектронной спектроскопии . Рентгеновская фотоэлектронноя спектроскопия; аппаратура, источники рентгеновского излучения, монохроматизация. Энергоанализаторы (магнитные и электростатические, дисперсные и бездисперсные. . Энергии связи электронов в различных оболочках атомов. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Сдвиги энергии связи в зависимости от химического окружения атома. Факторы, определяющие глубину анализируемых слоев. Интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров, "химический сдвиг", качественный и количественный анализ методом РФЭС, инструментальные ограничения метода.Получение профилей концентрации с помощью РФС. Практическое применение метода РФЭС. Сравнительные особенности методов ЭОС и РФЭС. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Энергетический спектр и угловое распределение электронов. Исследование структуры валентной зоны, поверхностных состояний твердого тела. Получение информации о хемосорбции	2	4	1, 2, 4, 5, 6, 7	Дискуссия на данную тему
5. Физические основы электронной оже-спектроскопии. Экспериментальное оборудование для ЭОС. Количественный элементный анализ в электронной оже-спектроскопии	0	4	1, 2, 4, 5, 6, 7	
Семестр: 2				
Дидактическая единица: Методы электронной спектроскопии				

6. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Физические механизмы потерь энергии электронов в твердых телах. Плазмоны, их энергия. Ионизационная спектроскопия. Переходы электронов с внутренних уровней в свободные состояния зоны проводимости.Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов глубоких уровней, низкоэнергетическая СХПЭЭ и СХПЭЭ высокого разрешения. Аппаратура СХПЭЭ инструментальные ограничения метода, достоинства и недостатки. Области применения СХПЭЭ.	0	4	1, 2, 4, 5, 6, 7	
Дидактическая единица: Анализаторы энергии электронов				
7. Анализ энергии вторичных электронов в электронной спектроскопии. Электрическое дифференцирование кривой распределения вторичных электронов по энергиям. Метод модуляции задерживающего или отклоняющего потенциала. Основные виды анализаторов энергии электронов в методах электронной спектроскопии. Анализаторы задерживающего поля: аппаратура, достоинства и недостатки. Отклоняющие электростатические анализаторы: цилиндрический зеркальный анализатор, концентрический полусферический анализатор: аппаратура, достоинства и недостатки.	2	4	1, 2, 4, 5, 6, 7	Дискуссия на данную тему
Дидактическая единица: Общие принципы электронной микроскопии				

8. Основные принципы электронной микроскопии. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Упругое и неупругое рассеяние.Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Физические принципы работы ПЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия ПЭМ. Электронная оптика и электронная пушка. Предельное разрешение электронного микроскопа и дефекты электронных линз.Формирование изображения в электронном микроскопе. Дифракционный контраст. Фазовый контраст в ПЭМ. Режим микродифракции. Подготовка образцов для ПЭМ. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы работы СЭМ. Глубина проникновения электронов в твердое тело. Формирование изображения в сканирующей электронной микроскопии. Контраст изображения во вторичных электронах. Контраст изображения в отраженных электронах. Кристаллографический и магнитный типы контрастов. Режим наведенного тока и потенциальный контраст. Подготовка образцов для СЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия СЭМ. Детектор втор	0	5	1, 2, 4, 5, 6, 7	
Дидактическая единица: Общие принципы сканирующей зондовой микроскопии				

9. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принцип работы. методика восстановления поверхности образца по ее СЗМ-изображению Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ). Физические основы принципа действия , оборудование и применение СБОМ	0	5	1, 2, 4, 5, 6, 7	

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 2				
Дидактическая единица: Дифракционные методы исследования				
1. Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов	2	6	1, 2, 4	Практическое занятие
2. Получение и расшифровка картин ДБЭ	2	6	1, 2, 4	Практическое занятие
3. Определение параметров элементарной ячейки поверхностной структуры по картине ДМЭ	2	6	1, 2, 4	Практическое занятие
Дидактическая единица: Общие принципы сканирующей зондовой микроскопии				
4. Получение изображений поверхности методом АСМ	1	8	1, 2, 4, 6, 7	Выполнение исследовательской работы под руководством преподавателя
5. Получение изображений поверхности методом СТМ	1	6	1, 2, 4, 6, 7	Выполнение исследовательской работы под руководством преподавателя
6. Определение толщины пленок методом эллипсометрии	0	4	1, 2, 4, 6, 7	Выполнение исследовательской работы под руководством преподавателя

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 1				
1	Контрольные работы	3, 4	2	2
Подготовка и написание контрольной работы: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062				

2	Подготовка к занятиям	1, 2, 4, 5	0	2
Предварительное изучение теоретического материала: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062				
3	Подготовка к аттестации	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	8	2
Самостоятельная работа с литературой, подготовка к зачету: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062 Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Ч. 2 : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 225, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208144				
Семестр: 2				
1	РГЗ	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	16	4
Выполнение расчётно-графического задания (написание рефератов), защита: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062				
2	Подготовка к занятиям	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	12	0
Предварительное изучение теоретического материала: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062				
3	Подготовка к аттестации	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	17	3
Подготовка к экзамену: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail
Консультирование	e-mail
Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	e-mail

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 1		
Подготовка к занятиям:	10	20
Лекция:	10	20
Контрольные работы:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062"		
Зачет:	10	20
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062"		
Семестр: 2		
Лекция:	5	10
Практические занятия:	5	10
РГЗ:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062"		
Экзамен:	20	40
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062"		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля			
		Контр. раб.	Защита РГЗ	Зачет	Экзамен
ПК.2	з1. знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем		+	+	+
	з2. знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях	+	+	+	+
	з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах разделах фаз в различных нано- и микросистемах	+		+	+
	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения		+	+	+
ПК.3	з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	+	+	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля : учебное пособие по направлению "Прикладные математика и физика" / Д. Брандон, У. Каплан ; пер. с англ. под ред. С. Л. Баженова с доп. О. В. Егоровой. - М., 2006. - 377 с. : ил.

2. Синдо Д. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия / Д. Синдо, Т. Оикава ; пер. с англ. С. А. Иванова. - М., 2006. - 249, [5] с. : ил.

3. Эгертон Р. Ф. Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую электронную микроскопию / Р. Ф. Эгертон ; пер. с англ. С. А. Иванова. - М., 2010. - 300 с. : ил., табл.

4. Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Ч. 2 : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 225, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208144

5. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для вузов / В. Миронов ; Ин-т физики микроструктур. - М., 2005. - 143 с. : цв. ил.

Дополнительная литература

1. Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчар ; пер. с англ. Е. Ф. Шека ; под ред. В. И. Раховского. - М., 1989. - 568 с. : ил., табл.

2. Анализ поверхности методами оже-и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : [учебно-справочная монография / М. П. Сих и др.] ; под ред. Д. Бриггса и М. П. Сиха ; пер. с англ. под ред. В. И. Раховского и И. С. Реза. - М., 1987. - 598 с. : ил., граф.

3. Карлсон Т. А. Фотоэлектронная и Оже-спектроскопия / Томас А. Карлсон ; пер. с англ. И. А. Брытова, Н. И. Комяка, В. В. Кораблева. - Л., 1981. - 430, [1] с. : ил.

4. Мозольков А. Е. Дифракция медленных электронов поверхностью / А. Е. Мозольков, В. К. Федянин. - М., 1982. - 143 с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - Ч. 2. - 225, [1] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208144. - Загл. с экрана.

2. ЭБС НГТУ : http://elibrary.nstu.ru/

3. ЭБС «Издательство Лань» : https://e.lanbook.com/

4. ЭБС IPRbooks : http://www.iprbookshop.ru/

5. ЭБС "Znanium.com" : http://znanium.com/

6. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 Microsoft Windows

2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Комплект оборудования

№	Наименование	Назначение
1	Комплект мультимедийного оборудования	используется при чтении лекций и защите РГЗ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталев
“___”_____ _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов
Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника,
магистерская программа: Материалы микро- и наносистемной техники

Новосибирск 2017

1. **Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины**

Обобщенная структура фонда оценочных средств по **дисциплине** Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	**Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)**	**Темы**	**Этапы оценки компетенций**	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	**Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)**
ПК.2/НИ готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты	з1. знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	Анализ энергии вторичных электронов в электронной спектроскопии. Электрическое дифференцирование кривой распределения вторичных электронов по энергиям. Метод модуляции задерживающего или отклоняющего потенциала. Основные виды анализаторов энергии электронов в методах электронной спектроскопии. Анализаторы задерживающего поля: аппаратура, достоинства и недостатки. Отклоняющие электростатические анализаторы: цилиндрический зеркальный анализатор, концентрический полусферический анализатор: аппаратура, достоинства и недостатки. Дифракция электронов и сфера Эвальда. Кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда. Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Поверхностная чувствительность метода. Схема эксперимента. Дифракционная картина - проекция обратной двумерной решетки на плоскость экрана. Аппаратура и инструментальные ограничения метода. Интерпетация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация . Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Аппаратура и инструментальные ограничения метода ДОБЭ. Сравнительный анализ методов ДОБЭ и ДМЭ. Анализ картин ДОБЭ."Преимущества метода для контроля процесса роста пленки непосредственно в	РГЗ, разделы 1-19	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		камере установки МЛЭ. Поверхностная чувствительность метода. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины." Применение ДОБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ. Осцилляции интенсивности Общие физические принципы методов фотоэлектронной спектроскопии . Рентгеновская фотоэлектронноя спектроскопия; аппаратура, источники рентгеновского излучения, монохроматизация. Энергоанализаторы (магнитные и электростатические, дисперсные и бездисперсные. . Энергии связи электронов в различных оболочках атомов. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Сдвиги энергии связи в зависимости от химического окружения атома. Факторы, определяющие глубину анализируемых слоев. Интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров, "химический сдвиг", качественный и количественный анализ методом РФЭС, инструментальные ограничения метода.Получение профилей концентрации с помощью РФС. Практическое применение метода РФЭС. Сравнительные особенности методов ЭОС и РФЭС. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Энергетический спектр и угловое распределение электронов. Исследование структуры валентной зоны, поверхностных состояний твердого тела. Получение информации о хемосорбции Определение толщины пленок методом эллипсометрии Основные принципы электронной микроскопии. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Упругое и неупругое		

		рассеяние.Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Физические принципы работы ПЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия ПЭМ. Электронная оптика и электронная пушка. Предельное разрешение электронного микроскопа и дефекты электронных линз.Формирование изображения в электронном микроскопе. Дифракционный контраст. Фазовый контраст в ПЭМ. Режим микродифракции. Подготовка образцов для ПЭМ. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы работы СЭМ. Глубина проникновения электронов в твердое тело. Формирование изображения в сканирующей электронной микроскопии. Контраст изображения во вторичных электронах. Контраст изображения в отраженных электронах. Кристаллографический и магнитный типы контрастов. Режим наведенного тока и потенциальный контраст. Подготовка образцов для СЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия СЭМ. Детектор втор Получение и расшифровка картин ДБЭ Получение изображений поверхности методом АСМ Получение изображений поверхности методом СТМ Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принцип работы. методика восстановления поверхности образца по ее СЗМ-изображению Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ). Физические основы принципа действия , оборудование и применение СБОМ Спектроскопия		

		характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Физические механизмы потерь энергии электронов в твердых телах. Плазмоны, их энергия. Ионизационная спектроскопия. Переходы электронов с внутренних уровней в свободные состояния зоны проводимости.Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов глубоких уровней, низкоэнергетическая СХПЭЭ и СХПЭЭ высокого разрешения. Аппаратура СХПЭЭ инструментальные ограничения метода, достоинства и недостатки. Области применения СХПЭЭ. Теоретические основы методов электронной спектроскопии. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии.Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Плазмоны. Сечения процессов и пробеги электронов в твердых телах. Глубина выхода электронов и поверхностная чувствительность методов электронной спектроскопии. Физические основы электронной оже-спектроскопии. Экспериментальное оборудование для ЭОС. Количественный элементный анализ в электронной оже-спектроскопии		
ПК.2/НИ	з2. знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях	Анализ энергии вторичных электронов в электронной спектроскопии. Электрическое дифференцирование кривой распределения вторичных электронов по энергиям. Метод модуляции задерживающего или отклоняющего потенциала. Основные виды анализаторов энергии электронов в методах электронной спектроскопии. Анализаторы задерживающего поля: аппаратура, достоинства и недостатки. Отклоняющие электростатические анализаторы: цилиндрический зеркальный анализатор, концентрический полусферический анализатор: аппаратура, достоинства и недостатки. Дифракция электронов и сфера Эвальда.	Контрольная работа, разд. 1-8 РГЗ, разделы 1-19	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		Кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда. Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Поверхностная чувствительность метода. Схема эксперимента. Дифракционная картина - проекция обратной двумерной решетки на плоскость экрана. Аппаратура и инструментальные ограничения метода. Интерпетация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация . Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Аппаратура и инструментальные ограничения метода ДОБЭ. Сравнительный анализ методов ДОБЭ и ДМЭ. Анализ картин ДОБЭ."Преимущества метода для контроля процесса роста пленки непосредственно в камере установки МЛЭ. Поверхностная чувствительность метода. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины." Применение ДОБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ. Осцилляции интенсивности Общие физические принципы методов фотоэлектронной спектроскопии . Рентгеновская фотоэлектронноя спектроскопия; аппаратура, источники рентгеновского излучения, монохроматизация. Энергоанализаторы (магнитные и электростатические, дисперсные и бездисперсные. . Энергии связи электронов в различных оболочках атомов. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Сдвиги энергии связи в зависимости от химического окружения атома. Факторы, определяющие глубину анализируемых слоев. Интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров,		

		"химический сдвиг", качественный и количественный анализ методом РФЭС, инструментальные ограничения метода.Получение профилей концентрации с помощью РФС. Практическое применение метода РФЭС. Сравнительные особенности методов ЭОС и РФЭС. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Энергетический спектр и угловое распределение электронов. Исследование структуры валентной зоны, поверхностных состояний твердого тела. Получение информации о хемосорбции Определение толщины пленок методом эллипсометрии Основные принципы электронной микроскопии. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Упругое и неупругое рассеяние.Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Физические принципы работы ПЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия ПЭМ. Электронная оптика и электронная пушка. Предельное разрешение электронного микроскопа и дефекты электронных линз.Формирование изображения в электронном микроскопе. Дифракционный контраст. Фазовый контраст в ПЭМ. Режим микродифракции. Подготовка образцов для ПЭМ. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы работы СЭМ. Глубина проникновения электронов в твердое тело. Формирование изображения в сканирующей электронной микроскопии. Контраст изображения во вторичных электронах. Контраст изображения в отраженных электронах. Кристаллографический и магнитный типы контрастов. Режим наведенного тока и потенциальный контраст. Подготовка образцов для СЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия		

		СЭМ. Детектор втор Получение и расшифровка картин ДБЭ Получение изображений поверхности методом АСМ Получение изображений поверхности методом СТМ Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принцип работы. методика восстановления поверхности образца по ее СЗМ-изображению Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ). Физические основы принципа действия , оборудование и применение СБОМ Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Физические механизмы потерь энергии электронов в твердых телах. Плазмоны, их энергия. Ионизационная спектроскопия. Переходы электронов с внутренних уровней в свободные состояния зоны проводимости.Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов глубоких уровней, низкоэнергетическая СХПЭЭ и СХПЭЭ высокого разрешения. Аппаратура СХПЭЭ инструментальные ограничения метода, достоинства и недостатки. Области применения СХПЭЭ. Теоретические основы методов электронной спектроскопии. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии.Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Плазмоны. Сечения процессов и пробеги электронов в твердых телах. Глубина выхода электронов и поверхностная чувствительность методов электронной спектроскопии. Физические основы электронной оже-спектроскопии.		

		Экспериментальное оборудование для ЭОС. Количественный элементный анализ в электронной оже-спектроскопии		
ПК.2/НИ	з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах разделах фаз в различных нано- и микросистемах	Введение. Проблемы метрологии в нанотехнологии. Особенности наноматериалов. Основы классификации и типа структур наноматериалов. Физические причины специфики наноматериалов и доминирующая роль поверхности. Основные характеристики поверхности твердых тел. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации	Контрольные работы, разделы 1-5	Зачет, вопросы 1-2 Экзамен, вопросы 1-2
ПК.2/НИ	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	Анализ энергии вторичных электронов в электронной спектроскопии. Электрическое дифференцирование кривой распределения вторичных электронов по энергиям. Метод модуляции задерживающего или отклоняющего потенциала. Основные виды анализаторов энергии электронов в методах электронной спектроскопии. Анализаторы задерживающего поля: аппаратура, достоинства и недостатки. Отклоняющие электростатические анализаторы: цилиндрический зеркальный анализатор, концентрический полусферический анализатор: аппаратура, достоинства и недостатки. Дифракция электронов и сфера Эвальда. Кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда. Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Поверхностная чувствительность метода. Схема эксперимента. Дифракционная картина - проекция обратной двумерной решетки на плоскость экрана. Аппаратура и инструментальные ограничения метода. Интерпетация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация . Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Аппаратура и инструментальные ограничения метода ДОБЭ.	РГЗ, разделы 1-19	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		Сравнительный анализ методов ДОБЭ и ДМЭ. Анализ картин ДОБЭ."Преимущества метода для контроля процесса роста пленки непосредственно в камере установки МЛЭ. Поверхностная чувствительность метода. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины." Применение ДОБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ. Осцилляции интенсивности Общие физические принципы методов фотоэлектронной спектроскопии . Рентгеновская фотоэлектронноя спектроскопия; аппаратура, источники рентгеновского излучения, монохроматизация. Энергоанализаторы (магнитные и электростатические, дисперсные и бездисперсные. . Энергии связи электронов в различных оболочках атомов. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Сдвиги энергии связи в зависимости от химического окружения атома. Факторы, определяющие глубину анализируемых слоев. Интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров, "химический сдвиг", качественный и количественный анализ методом РФЭС, инструментальные ограничения метода.Получение профилей концентрации с помощью РФС. Практическое применение метода РФЭС. Сравнительные особенности методов ЭОС и РФЭС. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Энергетический спектр и угловое распределение электронов. Исследование структуры валентной зоны, поверхностных состояний твердого тела. Получение информации о хемосорбции Основные принципы		

		электронной микроскопии. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Упругое и неупругое рассеяние.Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Физические принципы работы ПЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия ПЭМ. Электронная оптика и электронная пушка. Предельное разрешение электронного микроскопа и дефекты электронных линз.Формирование изображения в электронном микроскопе. Дифракционный контраст. Фазовый контраст в ПЭМ. Режим микродифракции. Подготовка образцов для ПЭМ. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы работы СЭМ. Глубина проникновения электронов в твердое тело. Формирование изображения в сканирующей электронной микроскопии. Контраст изображения во вторичных электронах. Контраст изображения в отраженных электронах. Кристаллографический и магнитный типы контрастов. Режим наведенного тока и потенциальный контраст. Подготовка образцов для СЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия СЭМ. Детектор втор Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принцип работы. методика восстановления поверхности образца по ее СЗМ-изображению Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ). Физические основы принципа действия , оборудование и применение СБОМ Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Физические механизмы потерь энергии электронов в		

		твердых телах. Плазмоны, их энергия. Ионизационная спектроскопия. Переходы электронов с внутренних уровней в свободные состояния зоны проводимости.Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов глубоких уровней, низкоэнергетическая СХПЭЭ и СХПЭЭ высокого разрешения. Аппаратура СХПЭЭ инструментальные ограничения метода, достоинства и недостатки. Области применения СХПЭЭ. Теоретические основы методов электронной спектроскопии. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии.Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Плазмоны. Сечения процессов и пробеги электронов в твердых телах. Глубина выхода электронов и поверхностная чувствительность методов электронной спектроскопии. Физические основы электронной оже-спектроскопии. Экспериментальное оборудование для ЭОС. Количественный элементный анализ в электронной оже-спектроскопии		
ПК.3/НИ готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники	з5. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	Анализ энергии вторичных электронов в электронной спектроскопии. Электрическое дифференцирование кривой распределения вторичных электронов по энергиям. Метод модуляции задерживающего или отклоняющего потенциала. Основные виды анализаторов энергии электронов в методах электронной спектроскопии. Анализаторы задерживающего поля: аппаратура, достоинства и недостатки. Отклоняющие электростатические анализаторы: цилиндрический зеркальный анализатор, концентрический полусферический анализатор: аппаратура, достоинства и недостатки. Введение. Проблемы метрологии в нанотехнологии. Особенности наноматериалов. Основы классификации и типа структур наноматериалов.	РГЗ, разделы 1-19	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		Физические причины специфики наноматериалов и доминирующая роль поверхности. Основные характеристики поверхности твердых тел. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации Дифракция электронов и сфера Эвальда. Кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда. Дифракция медленных электронов (ДМЭ). Поверхностная чувствительность метода. Схема эксперимента. Дифракционная картина - проекция обратной двумерной решетки на плоскость экрана. Аппаратура и инструментальные ограничения метода. Интерпетация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация . Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Аппаратура и инструментальные ограничения метода ДОБЭ. Сравнительный анализ методов ДОБЭ и ДМЭ. Анализ картин ДОБЭ."Преимущества метода для контроля процесса роста пленки непосредственно в камере установки МЛЭ. Поверхностная чувствительность метода. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины." Применение ДОБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ. Осцилляции интенсивности Общие физические принципы методов фотоэлектронной спектроскопии . Рентгеновская фотоэлектронноя спектроскопия; аппаратура, источники рентгеновского излучения, монохроматизация. Энергоанализаторы (магнитные и электростатические,		

		дисперсные и бездисперсные. . Энергии связи электронов в различных оболочках атомов. Кинетическая энергия фотоэлектронов. Сдвиги энергии связи в зависимости от химического окружения атома. Факторы, определяющие глубину анализируемых слоев. Интерпретация рентгеновских фотоэлектронных спектров, "химический сдвиг", качественный и количественный анализ методом РФЭС, инструментальные ограничения метода.Получение профилей концентрации с помощью РФС. Практическое применение метода РФЭС. Сравнительные особенности методов ЭОС и РФЭС. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Энергетический спектр и угловое распределение электронов. Исследование структуры валентной зоны, поверхностных состояний твердого тела. Получение информации о хемосорбции Определение толщины пленок методом эллипсометрии Основные принципы электронной микроскопии. Взаимодействие электронного пучка с веществом. Упругое и неупругое рассеяние.Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Физические принципы работы ПЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия ПЭМ. Электронная оптика и электронная пушка. Предельное разрешение электронного микроскопа и дефекты электронных линз.Формирование изображения в электронном микроскопе. Дифракционный контраст. Фазовый контраст в ПЭМ. Режим микродифракции. Подготовка образцов для ПЭМ. Сканирующая электронная микроскопия. Физические принципы работы СЭМ. Глубина проникновения электронов в твердое тело. Формирование изображения в сканирующей электронной микроскопии. Контраст		

		изображения во вторичных электронах. Контраст изображения в отраженных электронах. Кристаллографический и магнитный типы контрастов. Режим наведенного тока и потенциальный контраст. Подготовка образцов для СЭМ. Экспериментальное оборудование. Оптическая схема и принцип действия СЭМ. Детектор втор Получение и расшифровка картин ДБЭ Получение изображений поверхности методом АСМ Получение изображений поверхности методом СТМ Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принцип работы. методика восстановления поверхности образца по ее СЗМ-изображению Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ). Физические основы принципа действия , оборудование и применение СБОМ Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Физические механизмы потерь энергии электронов в твердых телах. Плазмоны, их энергия. Ионизационная спектроскопия. Переходы электронов с внутренних уровней в свободные состояния зоны проводимости.Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов глубоких уровней, низкоэнергетическая СХПЭЭ и СХПЭЭ высокого разрешения. Аппаратура СХПЭЭ инструментальные ограничения метода, достоинства и недостатки. Области применения СХПЭЭ. Теоретические основы методов электронной спектроскопии. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии.Процессы и		

		эффекты при взаимодействии электронов с веществом. Плазмоны. Сечения процессов и пробеги электронов в твердых телах. Глубина выхода электронов и поверхностная чувствительность методов электронной спектроскопии. Физические основы электронной оже-спектроскопии. Экспериментальное оборудование для ЭОС. Количественный элементный анализ в электронной оже-спектроскопии		

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 1 семестре - в форме зачета, в 2 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ.

Зачет и экзамен проводится в устной форме, по билетам.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 1 семестре обязательным этапом текущей аттестации является контрольная работа. Требования к выполнению контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы.

В 2 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.2/НИ, ПК.3/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт зачета

по дисциплине «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов», 1 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется из одного вопроса (список вопросов приведен ниже). В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № __1__
к зачету по дисциплине «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов»

---

1. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации.

Утверждаю: зав. кафедрой ППиМЭ _____ Гайслер В.А.
(подпись)
(дата)

2. **Критерии оценки**

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не имеет представление о современных методах исследования поверхности твердых тел, их физических принципах, экспериментальном оборудовании и областях применения данных методов, оценка составляет _*0-9* *баллов.*
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, имеет представление о современных методах исследования поверхности твердых тел, их физических принципах, экспериментальном оборудовании и областях применения данных методов, может показать причинно-следственные связи явлений, оценка составляет _*10-13*_ *баллов.*
- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при

ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, имеет представление о современных методах исследования поверхности твердых тел, знает физические основы принципа действия методов, их особенности и инструментальные ограничения, достоинства и недостатки, знает практическую значимость и возможность практического применения методов для исследования поверхности, умеет интерпретировать полученные результаты, проводит анализ методов оценка составляет *14-16 баллов.*

- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ методов, знает физические основы принципа действия методов, их особенности и инструментальные ограничения, достоинства и недостатки, знает существующие количественные теории, описывающие полученные результаты, знает практическую значимость и возможность практического применения методов для исследования поверхности, умеет интерпретировать полученные результаты, проводит сравнительный анализ понятий, теорий, выявляет проблемы, предлагает методы решения, обсуждает практическое применение и усовершенствование методов, оценка составляет *17-20 баллов.*

3. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 10 баллов (из 20 возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. **Вопросы к** зачету **по дисциплине «**Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов**»**

1. Особенности наноматериалов. Основы классификации и типа структур наноматериалов. Физические причины специфики наноматериалов и доминирующая роль поверхности
2. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации.
3. Методы электронной спектроскопии. Распределение электронов по энергии в методах электронной спектроскопии.
4. Анализаторы задерживающего поля. Преимущества и недостатки.
5. Анализаторы типа «цилиндрического зеркала».
6. Концентрический полусферический и секторный цилиндрический анализаторы.
7. Электронная Оже-спектроскопия. Физические принципы. Энергия Оже- электронов.
8. Экспериментальное оборудование для электронной Оже-спектроскопии (ЭОС).
9. Оже-анализ. Применение ЭОС.
10. Фотоэлектронная спектроскопия: РФЭС, физические принципы метода.
11. Экспериментальное оборудование ФЭС. Источники.
12. Энергия связи, влияние конечных состояний и химические сдвиги в РФЭС.
13. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.
14. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии. Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов», 1 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам: дифракция электронов и сфера Эвальда, кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда, дифракция медленных электронов (ДМЭ). Интерпетация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация. Дифракция отраженных быстрых электронов (ДОБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Сравнительный анализ методов ДОБЭ и ДМЭ. Анализ картин ДОБЭ. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины. Применение ДОБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ. Осцилляции интенсивности, включает 2 задания, выполняется самостоятельно письменно на занятии.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной,** если правильно не выполнено ни одного задания. Оценка составляет 0–19 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если правильно выполнено хотя бы одно задание. Оценка составляет 20–27 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если правильно выполнены оба задания. Оценка составляет 28–33 баллов.

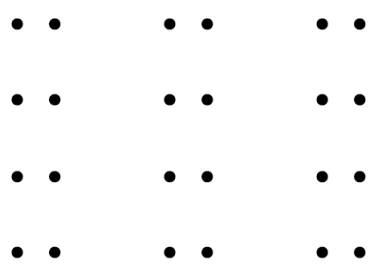
Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если выполнены оба задания с подробным теоретическим описанием и рассмотрением частных случаев. Оценка составляет 34–40 баллов.

3. Шкала оценки

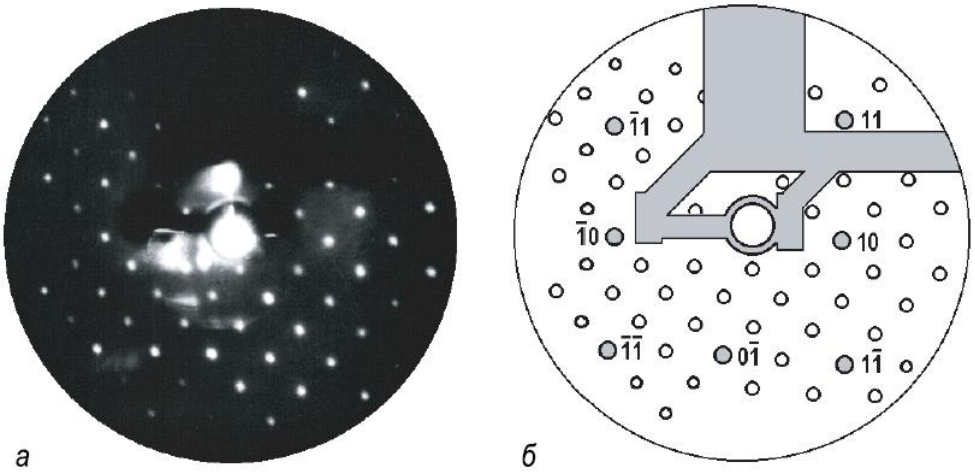
В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примеры задач для контрольной работы

1. Образуют ли точки на представленном ниже рисунке двумерную решетку? Если «да», то укажите ее векторы примитивных трансляций. Если «нет», то обоснуйте свой ответ.



2. Постойте плоскости (133), $(33\bar{1})$ и (113) простого кубического кристалла. Являются ли эти плоскости эвивалентнвми?
3. Укажите тип решетки Браве плоскости (111) г.ц.к. кристалла. Какой период имеет эта решетка, если сторона гранецентрированного куба равна *a*?
4. Покажите, что суперструктура $\sqrt{3}\times\sqrt{3}-R30^0$ в матричной записи описывается как $\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$, если угол между векторами примитивных трансляций составляет 120°. Как изменится матричная запись, если выбрать векторы примитивных трансляций, которые образуют угол 60°?
5. Адсорбция никеля на поверхности Si(111), имеющей гексагональную решетку, приводит к образованию соразмерной суперструктуры $\sqrt{7}\times\sqrt{7}-R\varphi^0$. Определите величину угла φ° и постройте двумерную решетку суперструктуры, наложенную на решетку 1×1. Приведите матричную запись этой суперструктуры.
6. Рассмотрите следующие решетки в прямом пространстве. Сколько симметричных доменов может иметь сверхрешетка? Нарисуйте схематически картины ДМЭ для однодоменных и многодоменных (если таковые есть) поверхностей,
   - гексагональная сверхрешетка $2\sqrt{3}\times2\sqrt{3}-R30^0$;
   - гексагональная сверхрешетка $\sqrt{7}\times\sqrt{7}-R\pm19.1^0$;
   - прямоугольная сверхрешетка 2×3;
   - прямоугольная центрированная сверхрешетка $c(4\times12)$.
7. По картине ДМЭ, показанной на рисунке, определите суперрешетку.



а *б*

8. Используя построение Эвальда, определите масштаб картины дифракции от поверхностей с квадратной решеткой с периодом 3 Å. Сколько дифракционных рефлексов будет видно (проанализировано) в каждом из трех указанных случаях?
   - На картине ДМЭ при энергии 50 эВ в системе ДМЭ с 120°-ным сферическим экраном.
   - На картине ДБЭ при эенргии 10 кэВ в системе с углом падения 5°, расстоянием от образца до экрана 30 см и диметром экрана 10 см.
   - При анализе рентгеновской дифракции под скользящими углами с длинной волны рентгеновского излучения 1.5 Å и азимутальным поворотом образца на 360°.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по дисциплине «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов», 2 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов _1-14_, второй вопрос из диапазона вопросов _15-28_ (список вопросов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _1_
к экзамену по дисциплине «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов»

---

1. Дифракционные методы исследования: ДМЭ, аппаратура. Инструментальные ограничения метода. Интерпретация картин ДМЭ.
2. Экспериментальное оборудование ФЭС. Источники.

Утверждаю: зав. кафедрой ППиМЭ _____ Гайслер В.А.
(подпись)
(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для экзамена считается **неудовлетворительным,** если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не имеет представление о современных методах исследования поверхности твердых тел, их физических принципах, экспериментальном оборудовании и областях применения данных методов, оценка составляет *0-19 баллов.*
- Ответ на билет для экзамена засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, имеет представление о современных методах исследования поверхности твердых тел, их физических принципах, экспериментальном оборудовании и областях применения данных методов, может показать причинно-следственные связи явлений, оценка составляет *20-27*

баллов.

- Ответ на билет для экзамена билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, имеет представление о современных методах исследования поверхности твердых тел, знает физические основы принципа действия методов, их особенности и инструментальные ограничения, достоинства и недостатки, знает практическую значимость и возможность практического применения методов для исследования поверхности, умеет интерпретировать полученные результаты, проводит анализ методов оценка составляет *28-33 баллов.*
- Ответ на билет для экзамена билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ методов, знает физические основы принципа действия методов, их особенности и инструментальные ограничения, достоинства и недостатки, знает существующие количественные теории, описывающие полученные результаты, знает практическую значимость и возможность практического применения методов для исследования поверхности, умеет интерпретировать полученные результаты, проводит сравнительный анализ понятий, теорий, выявляет проблемы, предлагает методы решения, обсуждает практическое применение и усовершенствование методов, оценка составляет *34-40 баллов.*

3. Шкала оценки

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 20 баллов (из 40 возможных).

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. **Вопросы к** экзамену **по дисциплине «**Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов**»**

1. Особенности наноматериалов. Основы классификации и типа структур наноматериалов. Физические причины специфики наноматериалов и доминирующая роль поверхности
2. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации.
3. Дифракционные методы исследования: ДМЭ, аппаратура. Инструментальные ограничения метода. Интерпретация картин ДМЭ.
4. ДБЭ, аппаратура, особенности (преимущества и недостатки по сравнению с ДМЭ). Анализ картин ДБЭ.
5. Методы электронной спектроскопии. Распределение электронов по энергии в методах электронной спектроскопии.
6. Анализаторы задерживающего поля. Преимущества и недостатки.
7. Анализаторы типа «цилиндрического зеркала».
8. Концентрический полусферический и секторный цилиндрический анализаторы.
9. Электронная Оже-спектроскопия. Физические принципы. Энергия Оже- электронов.
10. Экспериментальное оборудование для электронной Оже-спектроскопии (ЭОС).
11. Оже-анализ. Применение ЭОС.
12. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ).
13. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронами глубоких уровней. Аппаратура.
14. Низкоэнергетическая и плазмонная спектроскопия характеристических

потерь энергии электронами.

15. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронами высокого разрешения.
16. Фотоэлектронная спектроскопия: РФЭС, физические принципы метода.
17. Экспериментальное оборудование ФЭС. Источники.
18. Энергия связи, влияние конечных состояний и химические сдвиги в РФЭС.
19. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.
20. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Экспериментальное оборудование, разрешающая способность, образцы.
21. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Вторичные процессы при взаимодействии электронов с веществом.
22. Экспериментальное оборудование, разрешающая способность СЭМ. Электронно- ионный сканирующий микроскоп 1540 EsB.
23. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). Принцип работы.
24. Сканеры и зонды СЗМ. Артефакты в СЗМ.
25. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Режимы работы, особенности СТМ.
26. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Режимы работы, особенности АСМ.
27. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Принцип работы и области применения.
28. Энергетический спектр электронов в методах электронной спектроскопии. Процессы и эффекты при взаимодействии электронов с веществом.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт
расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов», 2 семестр

1. Методика оценки

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ методов диагностирования, выбрать и обосновать диагностические признаки и параметры, провести анализ особенностей и инструментальных ограничений методов исследования поверхности, отметить их достоинства и недостатки, практическую значимость и возможность практического применения методов для исследования поверхности. РГЗ(Р) выполняется в форме реферата и презентации.

Обязательные структурные части РГЗ.

- Введение
- Основная часть
- Выводы и заключение
- Список литературы

Оцениваемые позиции: основная часть, в которой должен быть анализ методов диагностирования, особенности и инструментальные ограничения методов исследования поверхности, их достоинства и недостатки, и выводы и заключения в которых отмечены практическая значимость и возможность практического применения методов для исследования поверхности.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной,** если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ достоинств и недостатков метода, данные о физических принципах, положенных в основу данного метода, об экспериментальном оборудовании и областях применения данного метода, оценка составляет *0-19 баллов*.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: анализ метода выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, данные об экспериментальном оборудовании и областях применения аппаратные средства не соответствуют современным требованиям, оценка составляет *20-27 баллов*.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ метода выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, изложены физические основы данного метода, показана практическая значимость и возможность практического применения данного метода для исследования поверхности, показано умение интерпретировать полученные результаты, но не проведен сравнительный анализ понятий, теорий, особенностей и инструментальных ограничений данного метода, его достоинств и недостатков, не обсуждается пути усовершенствование метода, оценка составляет *28-33 баллов*.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, изложены физические основы данного метода, показано умение интерпретировать полученные результаты, и изложены существующие количественные теории, описывающие полученные результаты, показана практическая значимость и

возможность практического применения данного метода для исследования поверхности, проведен сравнительный анализ понятий, теорий, особенностей и инструментальных ограничений данного метода, его достоинств и недостатков, обсуждаются пути усовершенствование метода, перспективы его развития и применения в различных областях науки и техники, оценка составляет *34-40 баллов*.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

1. Рентгеновская дифракция под скользящими углами.
2. Кинематическая теория дифракции электронов.
3. Теория многократного рассеяния в методе ДМЭ.
4. Влияние дефектов на картины ДМЭ.
5. Рентгеновская фотоэлектронноя спектроскопия.
6. Электронный микроанализ (рентгеновский).
7. Электронная Оже-спектроскопия с угловым разрешением.
8. Развитая тонкая структура края поглощения рентгеновских лучей.
9. Экспериментальное оборудование электронной спектроскопии.
10. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.
11. Дифракция отраженных быстрых электронов и МЛЭ.
12. Магнитно-силовая микроскопия.
13. Сканирующая силовая микроскопия.
14. Атомно-силовая микроскопия.
15. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия.
16. Сканирующая туннельная микроскопия.
17. Экспериментальное оборудование сканирующей электронной микроскопии.
18. Просвечивающая электронная микроскопия.
19. Сканирующая электронная микроскопия.