

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

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Методы диагностики и анализа микро- и наносистем

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.	0	16
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	3	Э

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:
31. знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем
32. знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях
33. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах
34. 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:
35. 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
<i>Методы диагностики и анализа микро- и наносистем</i>	
ПК.3.35 знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	
1. об объектах исследований - поверхностях твердого тела и микро- и наноструктурах	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.31 знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	
2. о физических основах методов экспериментального исследования структур пониженной размерности и наноструктур	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.34 уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	
3. о получении качественных и количественных характеристик исследуемых объектов по данным применяемых методов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.31 знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	
4. назначение методов экспериментального исследования структур пониженной размерности и наноструктур	Лекции; Самостоятельная работа
ПК.2.32 знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях	
5. физические основы методов и возможности характеристики объектов с их помощью	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.34 уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	
6. методы анализа данных и извлечения характеристик низкоразмерных структур из данных измерений	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.31 знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	
7. использовать методы диагностики и анализа микро- и наноструктур	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.2.33 знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах	

8.извлекать качественные и количественные характеристики из результатов измерений	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: спектроскопия поверхности; основные параметры материалов и систем, характеризующие степень кристаллического совершенства, удельное сопротивление, подвижность, плотность состояний на границе раздела, плотность локализованных состояний в объеме материала; методы определения кинетических параметров полупроводников: подвижность, диффузионная длина, время жизни носителей; растровая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия; методы рентгеноструктурного анализа; химический (фазовый) анализ методами рентгеновской, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии энергетических потерь быстрых электронов; определение элементного состава методами Оже-спектроскопии и вторичной ионной масс-спектроскопии; исследование параметров структур методами обратного рассеяния Резерфорда;				
1. Введение. Атомарно-чистые поверхности. Методы получения атомарно-чистых поверхностей. Поверхностное натяжение и устойчивость поверхностей.	0	1	1, 2, 4, 5	Лекция
2. Типы атомарно-чистых поверхностей полупроводников. Реконструкция атомарно-чистых поверхностей. Понятие о поверхностной фазе.	0	1	1, 2, 4, 5	Лекция
3. Структурные фазовые переходы на поверхностях полупроводников. Обозначения поверхностных структур. Начальные стадии роста слоев на атомарно-чистых поверхностях, механизмы роста.	0	2	1, 2, 4, 5	Лекция
4. Дифракционные методы исследования структуры. Энергетический спектр вторичных электронов. Зависимость длины свободного пробега электронов от энергии.	0	1	1, 2, 3	Лекция
5. Глубина, с которой получается информация в методах, основанных на изучении энергетических распределений вторичных электронов.	0	1	1, 2, 3	Лекция
6. Дифракция от линейной решетки. Уравнение Вульфа-Брэгга. Уравнения Лауэ. Основы кинематической теории дифракции, интерференционная функция. Форма дифракционных рефлексов.	0	1	1, 2, 3	Лекция

7. Применение понятий обратной решетки и сферы Эвальда в методе дифракции электронов. Когерентная длина электрона. Структурная амплитуда. Метод дифракции медленных электронов.	0	1	1, 2, 3	Лекция
8. Применение метода дифракции быстрых электронов на отражение. Осцилляции интенсивностей дифракционных рефлексов при слоевом росте пленок.	0	1	1, 2, 3	Лекция
9. Методы электронной спектроскопии. Эффект Оже. Энергии Оже-электронов. Электронная Оже-спектроскопия. Физические основы и схема реализации метода. Порог чувствительности метода.	0	1	5, 6	Лекция
10. Цилиндрический зеркальный анализатор распределения электронов по энергиям (ЦЗЭА). Определение химического состава поверхности с помощью метода электронной Оже-спектроскопии. Количественный анализ.	0	1	5, 6	Лекция
11. Коэффициенты элементной чувствительности. Характеристические потери энергии электронами (ХПЭЭ). Типы потерь. Спектроскопия ХПЭЭ как метод исследования поверхности.	0	1	5, 6	Лекция
12. Методы фотоэлектронной спектроскопии. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Физические основы метода. Поверхностная чувствительность. Схема метода.	0	1	7, 8	Лекция
13. Анализаторы энергий электронов. Кинетические энергии фотоэлектронов. Количественный анализ. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.	0	1	7, 8	Лекция
14. Энергии связи и химические сдвиги. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия и получаемая с ее помощью информация.	0	1	4, 5, 6	Лекция
15. Рассеяние ионов низких энергий. Кинематика упругих столкновений и кинематический фактор. Применение метода для диагностики поверхности.	0	1	4, 5, 6	Лекция

16. Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Физические основы метода ВИМС. Процесс распыления ионным пучком, выбор первичных ионов. Факторы влияющие на разрешение по глубине при послойном анализе.	0	1	4, 5, 6	Лекция
17. Принцип работы квадрупольного масс-спектрометра. Анализ распределений элементов по глубине объекта. Количественный анализ.	0	1	1, 4	Лекция
Семестр: 2				
Дидактическая единица: физические основы сканирующей туннельной микроскопии; методы получения атомного разрешения; физические основы атомно-силовой микроскопии; свойства поверхности в атомно-силовой микроскопии; контактный и полуконтактный методы исследования поверхности; метод фазового контраста; измерение распределения магнитных и электрических полей; измерение распределения потенциала и емкости; нанооптика и микроскопия ближнего поля; определение толщины тонких слоев методами интерферометрии и эллипсометрии; Фурье-анализ; рамановское рассеяние света				
18. Методы сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия. Физические основы и схема метода. Латеральное и вертикальное разрешение. Возможные применения.	0	4	1, 4	Лекция
19. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Физические основы и схема метода. Латеральное и вертикальное разрешение. Возможные применения.	0	4	1, 4	Лекция
20. Контактный и полуконтактный методы исследования поверхности с помощью АСМ. Метод фазового контраста. Измерение распределения магнитных полей методом АСМ.	0	4	3, 6	Лекция
21. Измерение распределения потенциала и емкости методом АСМ. Ближнепольная оптическая микроскопия.	0	4	3, 6	Лекция
22. Эллипсометрия. Поляризованный свет. Фазосдвигающие элементы. Определение толщины тонких слоев методом эллипсометрии. Устройство эллипсометра.	0	2	3, 6	Лекция

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 2				

Дидактическая единица: спектроскопия поверхности; основные параметры материалов и систем, характеризующие степень кристаллического совершенства, удельное сопротивление, подвижность, плотность состояний на границе раздела, плотность локализованных состояний в объеме материала; методы определения кинетических параметров полупроводников: подвижность, диффузионная длина, время жизни носителей; растровая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия; методы рентгеноструктурного анализа; химический (фазовый) анализ методами рентгеновской, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии энергетических потерь быстрых электронов; определение элементного состава методами Оже-спектроскопии и вторичной ионной масс-спектроскопии; исследование параметров структур методами обратного рассеяния Резерфорда;

1. Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов.	2	6	1, 8	Практическое занятие
2. Получение и расшифровка картин ДБЭ	4	6	3, 6, 8	Практическое занятие
3. Определение параметров элементарной ячейки поверхностной структуры по картине ДМЭ	2	6	3, 5	Практическое занятие

Дидактическая единица: физические основы сканирующей туннельной микроскопии; методы получения атомного разрешения; физические основы атомно-силовой микроскопии; свойства поверхности в атомно-силовой микроскопии; контактный и полуконтактный методы исследования поверхности; метод фазового контраста; измерение распределения магнитных и электрических полей; измерение распределения потенциала и емкости; нанооптика и микроскопия ближнего поля; определение толщины тонких слоев методами интерферометрии и эллипсометрии; Фурье-анализ; рамановское рассеяние света

4. Получение изображений поверхности методом АСМ	2	8	5, 7	Выполнение исследовательской работы под руководством преподавателя
5. Получение изображений поверхности методом СТМ	2	6	1, 5, 7	Выполнение исследовательской работы под руководством преподавателя
6. Определение толщины пленок методом эллипсометрии	4	4	2, 5, 8	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	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	2	0
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 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				
2	Подготовка к занятиям	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	2	0

Предварительное изучение теоретического материала: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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				
3	Дополнительная учебная деятельность	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	2	2
Подготовка к зачету: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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				
4	Подготовка к аттестации	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	4	4
Подготовка к зачёту: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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, 8	15	3
Выполнение расчётно-графического задания (написание рефератов): Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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				
2	Подготовка к занятиям	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	10	0
Предварительное изучение теоретического материала: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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				
3	Дополнительная учебная деятельность	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	4	0
Подгтовка к экзамену: Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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				
4	Подготовка к аттестации	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	16	4

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 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. 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

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм
1	Дискуссия
Краткое описание применения: Дискуссии на интересующие студентов темы	

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять 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		
<i>Подготовка к занятиям:</i>	10	20
<i>Лекция:</i>	10	20
<i>Контрольные работы:</i>	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 "		
<i>Зачет:</i>	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		
<i>Лекция:</i>	5	10
<i>Практические занятия:</i>	5	10

РГЗ:	20	40
Контролирующие материалы приводятся в "Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 нанoeлектронных 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	31. знать основные методы высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем	+	+	+	+
	32. знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в нанотехнологиях	+		+	+
	33. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела фаз в различных нано- и микросистемах			+	+
	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения		+	+	+
ПК.3	35. 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. Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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
2. 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.
3. Пергамент М. И. Методы исследований в экспериментальной физике : [учебное пособие для вузов по направлению "Прикладная математика и физика"] / М. И. Пергамент. - Долгопрудный, 2010. - 300 с. : ил., табл.
4. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. - М., 2007. - 414 с. : ил.
5. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для вузов / В. Миронов ; Ин-т физики микроструктур. - М., 2005. - 143 с. : цв. ил.
6. 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. - М., 2004. - 377 с. : ил.

Дополнительная литература

1. Фелдман Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок : [монография] / Л. Фелдман, Д. Майер ; пер. с англ. В. А. Аркадьева и Л. И. Огнева, под ред. В. В. Белошицкого. - М., 1989. - 342 с.

2. 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.
3. Уэстон Д. Ф. Техника сверхвысокого вакуума / Дж. Уэстон ; пер. с англ. М. В. Фоминой. - М., 1988. - 365 с. : ил., табл.
4. Ю П. Основы физики полупроводников : перевод с англ. яз. / Питер Ю, Мануэль Кардона ; под ред. Б. П. Захарчени. - М., 2002. - 560 с. : ил.. - Библиогр. на англ. яз.: с. 509-541. - Предм. указ.: с. 542-560.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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 Office
- 2 Microsoft Windows

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Используется для лекций и семинарских занятий

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. Хрусталеv
“ ____ ” _____ ____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Методы диагностики и анализа микро- и наносистем

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

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Методы диагностики и анализа микро- и наносистем 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	Анализаторы энергий электронов. Кинетические энергии фотоэлектронов. Количественный анализ. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Физические основы и схема метода. Латеральное и вертикальное разрешение. Возможные применения. Введение. Атомарно-чистые поверхности. Методы получения атомарно-чистых поверхностей. Поверхностное натяжение и устойчивость поверхностей. Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Физические основы метода ВИМС. Процесс распыления ионным пучком, выбор первичных ионов. Факторы влияющие на разрешение по глубине при послойном анализе. Глубина, с которой получается информация в методах, основанных на изучении энергетических распределений вторичных электронов. Дифракционные методы исследования структуры. Энергетический спектр вторичных электронов. Зависимость длины свободного пробега электронов от энергии. Дифракция от линейной решетки. Уравнение Вульфа-Брэгга. Уравнения Лауэ. Основы кинематической теории дифракции, интерференционная функция. Форма дифракционных рефлексов. Методы сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия. Физические основы и схема метода. Латеральное и вертикальное разрешение. Возможные применения.	РГЗ, все разделы	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		Методы фотоэлектронной спектроскопии. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Физические основы метода. Поверхностная чувствительность. Схема метода. Определение толщины пленок методом эллипсометрии. Получение изображений поверхности методом АСМ. Получение изображений поверхности методом СТМ. Применение метода дифракции быстрых электронов на отражение. Осцилляции интенсивностей дифракционных рефлексов при слоевом росте пленок. Применение понятий обратной решетки и сферы Эвальда в методе дифракции электронов. Когерентная длина электрона. Структурная амплитуда. Метод дифракции медленных электронов. Принцип работы квадрупольного масс-спектрометра. Анализ распределений элементов по глубине объекта. Количественный анализ. Рассеяние ионов низких энергий. Кинематика упругих столкновений и кинематический фактор. Применение метода для диагностики поверхности. Структурные фазовые переходы на поверхностях полупроводников. Обозначения поверхностных структур. Начальные стадии роста слоев на атомарно-чистых поверхностях, механизмы роста. Типы атомарно-чистых поверхностей полупроводников. Реконструкция атомарно-чистых поверхностей. Понятие о поверхностной фазе. Энергии связи и химические сдвиги. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия и получаемая с ее помощью информация.		
ПК.2/НИ	32. знать физическую основу процессов, протекающих при реализации нанотехнологии, возможности и характеристики материалов, используемых в	Введение. Атомарно-чистые поверхности. Методы получения атомарно-чистых поверхностей. Поверхностное натяжение и устойчивость поверхностей. Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Физические основы метода ВИМС. Процесс распыления ионным пучком,	Контрольная работа, все разделы	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

	нанотехнологиях	выбор первичных ионов. Факторы влияющие на разрешение по глубине при послойном анализе. Коэффициенты элементной чувствительности. Характеристические потери энергии электронами (ХПЭЭ). Типы потерь. Спектроскопия ХПЭЭ как метод исследования поверхности. Методы электронной спектроскопии. Эффект Оже. Энергии Оже-электронов. Электронная Оже-спектроскопия. Физические основы и схема реализации метода. Порог чувствительности метода. Определение параметров элементарной ячейки поверхностной структуры по картине ДМЭ Определение толщины пленок методом эллипсометрии Получение изображений поверхности методом АСМ Получение изображений поверхности методом СТМ Рассеяние ионов низких энергий. Кинематика упругих столкновений и кинематический фактор. Применение метода для диагностики поверхности. Структурные фазовые переходы на поверхностях полупроводников. Обозначения поверхностных структур. Начальные стадии роста слоев на атомарно-чистых поверхностях, механизмы роста. Типы атомарно-чистых поверхностей полупроводников. Реконструкция атомарно-чистых поверхностей. Понятие о поверхностной фазе. Цилиндрический зеркальный анализатор распределения электронов по энергиям (ЦЗЭА). Определение химического состава поверхности с помощью метода электронной Оже-спектроскопии. Количественный анализ. Энергии связи и химические сдвиги. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия и получаемая с ее помощью информация.		
ПК.2/НИ	з3. знать физико-химические основы процессов, протекающих на границах раздела	Анализаторы энергий электронов. Кинетические энергии фотоэлектронов. Количественный анализ. Рентгеновская		Зачет, вопросы 1-2 Экзамен, вопросы 1-2

	фаз в различных нано- и микросистемах	фотоэлектронная спектроскопия. Методы фотоэлектронной спектроскопии. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Физические основы метода. Поверхностная чувствительность. Схема метода. Определение толщины пленок методом эллипсометрии Получение и расшифровка картин ДБЭ Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов.		
ПК.2/НИ	у4. уметь анализировать свойства наночастиц и наноматериалов, возможные способы их получения	Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Физические основы метода ВИМС. Процесс распыления ионным пучком, выбор первичных ионов. Факторы влияющие на разрешение по глубине при послойном анализе. Глубина, с которой получается информация в методах, основанных на изучении энергетических распределений вторичных электронов. Дифракционные методы исследования структуры. Энергетический спектр вторичных электронов. Зависимость длины свободного пробега электронов от энергии. Дифракция от линейной решетки. Уравнение Вульфа-Брэгга. Уравнения Лауэ. Основы кинематической теории дифракции, интерференционная функция. Форма дифракционных рефлексов. Измерение распределения потенциала и емкости методом АСМ. Ближнепольная оптическая микроскопия. Контактный и полуконтактный методы исследования поверхности с помощью АСМ. Метод фазового контраста. Измерение распределения магнитных полей методом АСМ. Коэффициенты элементной чувствительности. Характеристические потери энергии электронами (ХПЭЭ). Типы потерь. Спектроскопия ХПЭЭ как метод исследования поверхности. Методы электронной спектроскопии. Эффект Оже. Энергии Оже-электронов. Электронная Оже-спектроскопия. Физические основы и схема реализации метода. Порог	РГЗ, все разделы	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		чувствительности метода. Определение параметров элементарной ячейки поверхностной структуры по картине ДМЭ Получение и расшифровка картин ДБЭ Применение метода дифракции быстрых электронов на отражение. Осцилляции интенсивностей дифракционных рефлексов при слоевом росте пленок. Применение понятий обратной решетки и сферы Эвальда в методе дифракции электронов. Когерентная длина электрона. Структурная амплитуда. Метод дифракции медленных электронов. Рассеяние ионов низких энергий. Кинематика упругих столкновений и кинематический фактор. Применение метода для диагностики поверхности. Цилиндрический зеркальный анализатор распределения электронов по энергиям (ЦЗЭА). Определение химического состава поверхности с помощью метода электронной Оже-спектроскопии. Количественный анализ. Эллипсометрия. Поляризованный свет. Фазосдвигающие элементы. Определение толщины тонких слоев методом эллипсометрии. Устройство эллипсометра. Энергии связи и химические сдвиги. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия и получаемая с ее помощью информация.		
ПК.3/НИ готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники	35. знать основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне	Атомно-силовая микроскопия (АСМ). Физические основы и схема метода. Латеральное и вертикальное разрешение. Возможные применения. Введение. Атомарно-чистые поверхности. Методы получения атомарно-чистых поверхностей. Поверхностное натяжение и устойчивость поверхностей. Глубина, с которой получается информация в методах, основанных на изучении энергетических распределений вторичных электронов. Дифракционные методы исследования структуры. Энергетический спектр вторичных электронов. Зависимость длины свободного пробега	Контрольная работа и РГЗ, все разделы	Зачет, вопросы 1-14 Экзамен, вопросы 1-28

		электронов от энергии. Дифракция от линейной решетки. Уравнение Вульфа-Брэгга. Уравнения Лауэ. Основы кинематической теории дифракции, интерференционная функция. Форма дифракционных рефлексов. Методы сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующая туннельная микроскопия. Физические основы и схема метода. Латеральное и вертикальное разрешение. Возможные применения. Получение изображений поверхности методом СТМ Построение сферы Эвальда и определение положения дифракционных рефлексов. Применение метода дифракции быстрых электронов на отражение. Осцилляции интенсивностей дифракционных рефлексов при слоевом росте пленок. Применение понятий обратной решетки и сферы Эвальда в методе дифракции электронов. Когерентная длина электрона. Структурная амплитуда. Метод дифракции медленных электронов. Принцип работы квадрупольного масс-спектрометра. Анализ распределений элементов по глубине объекта. Количественный анализ. Структурные фазовые переходы на поверхностях полупроводников. Обозначения поверхностных структур. Начальные стадии роста слоев на атомарно-чистых поверхностях, механизмы роста. Типы атомарно-чистых поверхностей полупроводников. Реконструкция атомарно-чистых поверхностей. Понятие о поверхностной фазе.		
--	--	---	--	--

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 диагностики и анализа микро- и наносистем», 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 диагностики и анализа микро- и наносистем»

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 диагностики и анализа микро- и наносистем»

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.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Методы диагностики и анализа микро- и наносистем», 1 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам: спектроскопия Резерфордского обратного рассеяния, каналирование в монокристаллах, электрон-электронные взаимодействия и чувствительность к глубине в электронной спектроскопии, 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. Вычислить плотность атомов в С (графит), Si, Fe и Au. Выразить ответ в атом/см³.
2. Вычислить количество атомов, приходящихся на один см², в монослое Si(100), Si(111) и W(100).
3. Вычислить длину волны (в нм) иона гелия с энергией 1 МэВ, электрона с энергией 150 эВ и атома аргона с энергией 1 кэВ.
4. Пучок ионов гелия с энергией 2 МэВ падает на серебряную фольгу толщиной 10⁻⁶ см и претерпевает Кулоновское рассеяние в соответствии с формулой Резерфорда.
 - а) Найти минимальное расстояние сближения ионов гелия с ядрами атомов мишени.
 - б) Найти прицельный параметр для ионов He⁺, рассеиваемых под углом 90°.
 - в) Какая часть падающих частиц He⁺ с энергией 2 МэВ будет рассеиваться назад, т.е. $\Theta > 90^\circ$?
5. ⁴He⁺ испытывает лобовое столкновение с находящимся в состоянии покоя (а) ядром атома Au, (б) – ядром атома C, (в) – альфа-частицей, (г) – электроном. Какая часть кинетической энергии перейдет другой частице в результате столкновения в каждом из перечисленных случаев?

6. Вычислить и сравнить значения *стандартного* потенциала, потенциала Томаса-Ферми и потенциала $1/r^2$ при $r/a = 0,01; 0,1$ и $1,0$ с случае падения ионов гелия на кремний.
7. Медь обладает г.ц.к. решеткой с периодом $0,3615$ нм. Вычислить критические углы осевого и плоскостного каналирования, а также минимальный выход рассеяния ионов гелия с энергией 2 МэВ, падающих в направлении $\langle 100 \rangle$, если амплитуда тепловых колебаний равна $0,012$ нм.
8. Вычислить радиус теневого конуса R и амплитуду поверхностного пика в двухатомной модели для случая каналирования He^+ с энергией $1,0$ МэВ, падающих вдоль направления $\langle 100 \rangle$ в алюминии (пост. реш. $0,405$ нм, $\rho = 0,014$ нм).
9. Обычно сечение ударной электронной ионизации имеет максимум при $E/E_B = 3$. Вычислить значение энергии налетающих электронов, соответствующее максимуму сечения ионизации σ_{max} для K - и L -оболочек атомов кремния. Сечения ионизации зависят главным образом от скорости налетающих заряженных частиц; вычислить энергии налетающих протонов, имеющих те же скорости, что и электроны в примерах с ионизацией K - и L -оболочек.
10. Алюминиевая пленка нанесена на медную подложку. При исследовании проникновения атомов меди в алюминий используются электроны с энергией 3 кэВ, возбуждающие рентгеновское излучение $\text{Cu}L_\alpha$ -линии в пленке. Какой толщины должна быть алюминиевая пленка, чтобы электроны не могли возбуждать излучение $\text{Cu}L_\alpha$ -линии в медной подложке? Использовать формулу (6.34) с $K = 0,064$ и $\gamma = 1,68$.
11. Производится эксперимент по измерению потерь энергии электронов с начальной энергией 100 кэВ, проходящих сквозь алюминиевую пленку, в которой энергия объемного плазмона равна $15,3$ эВ. Найти среднюю длину свободного пробега λ электронов с энергией 100 кэВ. Сравнить пробеги электронов с энергией 100 кэВ, вычисленные по формуле (6.34) и по формуле (6.31), в которой величина dE/dx аппроксимирована постоянным значением при 50 кэВ.
12. Оже-электрон перехода $\text{Si } L_{VV}$ вылетает с энергией 92 эВ. В предположении, что единственным механизмом потерь является ионизация атомов кремния (см. приложение 4), вычислить среднюю длину свободного пробега таких электронов:
 - а) по соотношениям раздела 6.7;
 - б) по формуле $\lambda = 1/N\sigma$, где σ – сечение (6.11).
13. В вакуумной системе поток атомов газа, налетающих на поверхность, равен $Nv/4$, где N – число атомов в 1 см^3 , v – тепловая скорость атомов газа. В предположении, что каждый атом газа прилипает к поверхности, определить значение N , при котором абсорбированный слой атомов кислорода по прошествии одного часа не превышает двух монослоев. Выразить N в мм.рт.ст., пользуясь тем, что 1 атм (760 мм.рт.ст.) соответствует приблизительно $2 \cdot 10^{19}$ атом/ см^3 . Именно с этим связаны основные требования, диктующие необходимость хорошего вакуума для анализа тонких пленок.
14. Алюминий осаждается на поверхность подложки $\text{Si}(100)$ при низкой температуре и формирует непрерывную однородную пленку Al без перемешивания на границе раздела. Оценить затухание оже-сигнала $\text{Si } L_{VV}$ (92 эВ) после напыления пленки Al толщиной $0,25; 1; 5$ и 10 монослоев (МС). Считать длину затухания электронов с энергией 92 эВ в алюминии $\lambda_{\text{Al}}(92 \text{ эВ}) = 0,409$ нм и толщину одного монослоя алюминия $d_{\text{Al}}(1 \text{ МС}) = 0,113$ нм.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Методы диагностики и анализа микро- и наносистем», 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 диагностики и анализа микро- и наносистем»

1. Классификация методов диагностики по зондирующим воздействиям и детектируемым частицам, характер получаемой информации.
2. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Экспериментальное оборудование, разрешающая способность, образцы.

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 диагностики и анализа микро- и наносистем»

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 плазменная 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.

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Методы диагностики и анализа микро- и наносистем», 2 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны выполнить два задания, включающие следующие темы: дифракция электронов и сфера Эвальда, кристаллическая структура поверхности, матричная запись и запись Вуда, дифракция медленных электронов (ДМЭ). Интерпретация картин ДМЭ: качественное рассмотрение и практическая реализация. Дифракция быстрых электронов (ДБЭ) и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Анализ картин ДБЭ. Определение параметров кристаллической решетки из дифракционной картины. Применение ДБЭ для исследования микроморфологии поверхности и послойного роста пленок в процессе МЛЭ. Влияние дефектов поверхности на дифракционную картину в методе МЛЭ.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны провести анализ объекта расчета, выбрать и обосновать способы расчета, убедиться в правильности расчета путем сравнения с литературными данными.

Обязательные структурные части РГЗ:

- введение;
- основная часть;
- выводы и заключение;
- список литературы.

2. Критерии оценки

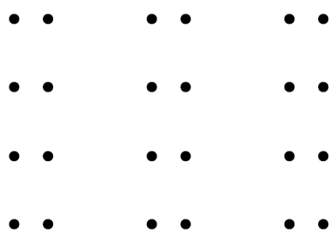
- Работа считается **не выполненной**, если уровень её выполнения работы не отвечает большинству основных требований, проблема не раскрыта, обнаруживается существенное ее непонимание, используются «не актуальные» литературные источники, в расчётах допущены принципиальные ошибки. Оценка составляет 0–19 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом уровне**, если в расчётах и при построении допущены непринципиальные ошибки, отсутствуют, необоснованны или некорректно сформулированы выводы и заключение, оценка составляет 20–27 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом уровне**, если в расчётах и при построении допущены непринципиальные ошибки, оценка составляет 28–33 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом уровне**, если работа выполнена в полном объёме, расчёты и построение не содержат ошибок, сделаны обоснованные выводы и заключение, оценка составляет 34–40 баллов.

3. Шкала оценки

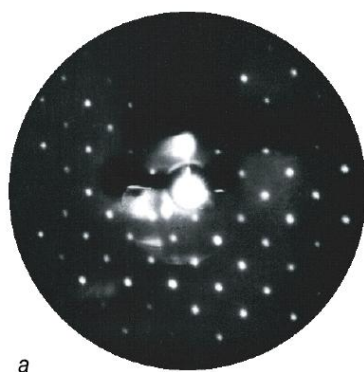
В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

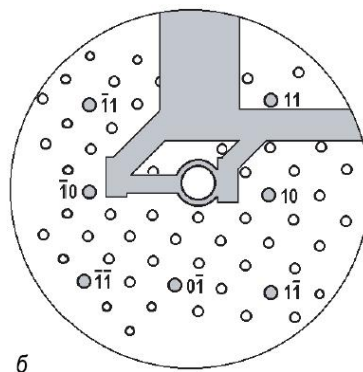
1. Образуя ли точки на представленном ниже рисунке двумерную решетку? Если «да», то укажите ее векторы примитивных трансляций. Если «нет», то обоснуйте свой ответ.



2. Постройте плоскости (133) , $(3\bar{3}\bar{1})$ и (113) простого кубического кристалла. Являются ли эти плоскости эквивалентными?
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 $\sqrt{3} \times \sqrt{3} - R30^\circ$ 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 $\text{Si}(111)$, имеющей гексагональную решетку, приводит к образованию соразмерной суперструктуры $\sqrt{7} \times \sqrt{7} - R\varphi^\circ$. 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 $2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3} - R30^\circ$;
 - гексагональная сверхрешетка $\sqrt{7} \times \sqrt{7} - R \pm 19.1^\circ$;
 - прямоугольная сверхрешетка 2×3 ;
 - прямоугольная центрированная сверхрешетка $c(4 \times 12)$.
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 $3 \text{ \AA}$. Сколько дифракционных рефлексов будет видно (проанализировано) в каждом из трех указанных случаев?
 - На картине ДМЭ при энергии 50 эВ в системе ДМЭ с 120° -ным сферическим экраном.
 - На картине ДБЭ при энергии 10 кэВ в системе с углом падения 5° , расстоянием от образца до экрана 30 см и диаметром экрана 10 см .
 - При анализе рентгеновской дифракции под скользящими углами с длиной волны рентгеновского излучения $1.5 \text{ \AA}$ и азимутальным поворотом образца на 360° .