

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Тагиров Л.Р.



20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Лабораторный практикум по физическим методам нанесения нанопокровтий БЗ.ДВ.2

Направление подготовки: 222900.62 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Вагизов Ф.Г.

Рецензент(ы):

Тагиров Л.Р.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Тагиров Л. Р.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 201__ г

Регистрационный No 668317

Казань
2017

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Вагизов Ф.Г. Кафедра физики твердого тела Отделение физики , vagizovf@gmail.com

1. Цели освоения дисциплины

- получение фундаментальных знаний и практических навыков в интенсивно развивающейся области науки: физике и химии поверхности и тонких пленок, имеющей большое значение для современного материаловедения;
- освоить технику получения тонких пленок и модификации поверхности с помощью традиционных вакуумно-термических, а также современных ионно-лучевых и ионно-плазменных методов;
- получение знаний о современных достижениях в развитии методов нанесения нанопокровов;
- формирование у студентов современного понимания основных научно-технических проблем и перспектив развития данного направления.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.2 Профессиональный" основной образовательной программы 222900.62 Нанотехнологии и микросистемная техника и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

Составлен на основании требований ФГОС высшего профессионального образования и является частью профессионального цикла (блок Б.3) дисциплин подготовки студентов по направлению "Нанотехнологии и микросистемная техника".

Для направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника" подготовки бакалавров дисциплина "Лабораторный практикум по физическим методам нанесения нанопокровов" является обязательной. Она базируется на образовательных дисциплинах таких как: "Физика", "Химия", "Математика", и др.

Основные положения дисциплины "Лабораторный практикум по физическим методам нанесения нанопокровов" используются в дальнейшем при изучении дисциплины "Специальные вопросы материаловедения низкоразмерных систем", а также при подготовке и выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-22 (профессиональные компетенции)	готовностью к эксплуатации и техническому обслуживанию технологического и контрольно-диагностического оборудования в области нанотехнологии
ПК-23 (профессиональные компетенции)	готовностью применять материалы и компоненты нано- и микросистемной техники при создании технических систем различного функционального назначения
ПК-24 (профессиональные компетенции)	готовностью организовывать контроль качества выпускаемой продукции, проведению сертификации изделий нанотехнологии
ПК-25 (профессиональные компетенции)	готовностью применять знания о действующих стандартах и технических условиях, положениях и инструкциях по эксплуатации исследовательского оборудования, программам испытаний, оформлению технической документации

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-27 (профессиональные компетенции)	готовностью применять современные методы организации труда для обеспечения научных исследований и промышленного производства в области нанотехнологии
ПК-3 (профессиональные компетенции)	готовностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способностью владеть методами решения задач анализа и расчета характеристик электрических цепей

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- фундаментальные основы процессов синтеза, анализа и функционирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
- физико-математические и физико-химические модели процессов нанотехнологии и методов нанодиагностики;
- базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;

2. должен уметь:

- применять полученные знания для совершенствования технологических процессов и разработки новых способов, применять современные методы оперативного контроля основных параметров тонкопленочного покрытия и методов исследования тонкопленочных материалов и свойств поверхности;
- осуществлять постановку целей и задач работы при выполнении научных исследований и организации опытно-промышленного производства;
- применять современные методы исследования для синтеза и анализа материалов и компонентов нано и микросистемной техники;
- применять методы анализа и обработки экспериментальных данных, систематизации научно-технической информации;
- применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики;

3. должен владеть:

- навыками работы на современных установках по получению тонких пленок и модификации их свойств, а также современных приборах по исследованию поверхности и тонких пленок
- методами обработки и оценки погрешности результатов измерений;

4. должен демонстрировать способность и готовность:

- выбора методов и режимов нанесения тонкопленочных покрытий;
- анализа их технологичности и соответствия физико-химических свойств полученных материалов заданным целям;
- проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
- анализировать и систематизировать результаты исследований, обрабатывать и представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 7 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение в физику методов нанесения нанопокровов	7	1	2	0	0	Устный опрос
2.	Тема 2. Теория зародышеобразования и формирования пленок	7	2-3	2	0	0	Устный опрос
3.	Тема 3. Свойства тонких пленок	7	4-5	4	0	0	Устный опрос
4.	Тема 4. Физические основы и принципы действия вакуумных устройств/насосов	7	6	2	0	5	Отчет
5.	Тема 5. Техника и методы получения тонких пленок вакуумной технологией	7	7-8	2	0	11	Отчет
6.	Тема 6. Плазменные технологии нанесения тонких пленок	7	9-11	2	0	16	Коллоквиум Отчет
7.	Тема 7. Ионно-лучевой синтез тонких пленок	7	12-14	2	0	16	Отчет
8.	Тема 8. Экспериментальные методы изучения поверхности и тонких пленок	7	15-18	2	0	20	Отчет
.	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	Зачет

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
	Итого			18	0	68	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение в физику методов нанесения нанопокровтий

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Понятие тонкопленочного состояния вещества. Малые частицы, кластеры, основные определения. Методы нанесения нанопокровтий. Применение тонких пленок в электронике, микроэлектронике, оптике, машиностроении, медицине, приборостроении и других областях науки и техники

Тема 2. Теория зародышеобразования и формирования пленок

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Теория зародышеобразования и формирования пленки раскрывается на двух лекциях. В первой лекции рассматриваются вопросы падение частиц на подложку, процессы при взаимодействии атомов, молекул и атомов с поверхностью, процессы адсорбции и конденсации, т.е. процессы зародышеобразования, включая ознакомление с механизмом формирования зародышей, формированием субкритических и критических зародышей. Раскрывается роль поверхностной и объемной диффузии в формировании зародышей. Указываются причины разных времен жизни зародышей, механизм коалесценции островковых формирований и роста зародышей, их структуризации. Во второй лекции рассматриваются вопросы критических температур: критической температуры конденсации, температуры изменения механизма конденсации, температуры возникновения преимущественной ориентации. Затем будут рассмотрены физико-химические особенности этапов формирования пленки, образования дефектов в процессе роста пленки.

Тема 3. Свойства тонких пленок

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Содержание раздела, посвященного свойствам тонких пленок, раскрывается в двух лекциях. На этих лекциях будут рассмотрены вопросы по механическим свойствам пленок: адгезия пленок, физика и химия адгезии, способы изменения адгезии, напряжения в пленках, механические свойства пленок -износостойкость, коэффициент трения, упругость, микротвердость и прочность. Будут рассмотрены особенности электрических и транспортных свойств тонких пленок, такие как: проводимость сплошных пленок, отрицательный ТКС наноразмерных диспергированных пленок, высокочастотные характеристики тонких пленок. Буде уделено внимание и на особые свойства пленок с наноструктурными включениями.

Тема 4. Физические основы и принципы действия вакуумных устройств/насосов

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Лекция посвящена изучению основных элементов техники получения тонкопленочных покровтий, включающая ознакомление с физическими основами и принципами действия вакуумных устройств/насосов и измерителей вакуума. 1. Вакуум, физические критерии разряжения, классификация. 2. Принципы действия вакуумных насосов. 3. Основные параметры вакуумных насосов. 4 Типы вакуумных насосов (механические, эжекторные, ионные, геттерные, сорбционные, адсорбционные, струйные, турбомолекулярные, насосы, основанные на химических реакциях, конденсации и др.) Измерители вакуума, термпарный датчик, ионизационная лампа.

лабораторная работа (5 часа(ов)):

Определение основных параметров вакуумных насосов (роторный форвакуумный насос, диффузионный, турбомолекулярный)

Тема 5. Техника и методы получения тонких пленок вакуумной технологией

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Техника и методы получения тонких пленок вакуумной технологией 1. Методики испарения и ионного распыления, метод термического вакуумного напыления, электронно-лучевое испарение, испарение ВЧ- и СВЧ-излучением, лазерная абляция 2. Химическое осаждение из парогазовой фазы, физика и химия метода, основные характеристики, процессы нанесения различных пленок 3. Молекулярно-лучевая эпитаксия 4. Катодное распыление, газовый разряд низкого давления, пространственные потенциалы и характеристики катодного распыления 5. Преимущества и недостатки методов 6. Принцип действия, основные параметры и характеристики установки термического вакуумного напыления ВУП-4

лабораторная работа (11 часа(ов)):

Получение тонких пленок металлов методом термического вакуумного напыления

Тема 6. Плазменные технологии нанесения тонких пленок

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Плазменные технологии нанесения тонких пленок Элементарные процессы в газоразрядной плазме, вольтамперная характеристика разряда, движение электронов в переменном ВЧ поле, постоянный потенциал ВЧ-плазмы, упругие процессы, неупругие взаимодействия частиц, химические реакции в плазме, распыление многокомпонентных материалов 1.

Ионно-плазменное нанесение покрытий 2. Плазмохимическое осаждение 3. Магнетронное распыление на постоянном токе, ВЧ магнетронное нанесение 4 Преимущества и недостатки плазменных методов 5. Принцип действия, основные параметры и характеристики магнетронной распылительной системы ВУП-5М

лабораторная работа (16 часа(ов)):

Получение тонких пленок на диэлектрической подложке методом ВЧ магнетронного осаждения

Тема 7. Ионно-лучевой синтез тонких пленок

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Ионно-лучевой синтез тонких пленок 1. Основные понятия ионной имплантацион-ная, ионная бомбардировка, ионное внедрение, ионное легирование, характеристики ионного пучка, торможение и пробег ионов, распределение пробега ионов, профиль распределения пробегов, радиационное дефекто-образование, свеллинг, ионное распыление, отжиг радиационных нарушений 2. Ионно-лучевой ускоритель ИЛУ-3, принцип действия, составные элементы, основные параметры и характеристики ИЛУ-3 3 Преимущества и недостатки метода ионно-лучевого синтеза

лабораторная работа (16 часа(ов)):

Синтез имплантированных слоев на подложке Si ионно-лучевым методом

Тема 8. Экспериментальные методы изучения поверхности и тонких пленок

лекционное занятие (2 часа(ов)):

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ТОНКИХ ПЛЕНОК 1.

Методы рентгеновской дифракции 2. Мессбауэровская спектроскопия конверсионных электронов 3. Спектрофотометрические методы исследования поверхности и низкоразмерных систем 4. Методы определения толщины, адгезии пленок, твердости.

лабораторная работа (20 часа(ов)):

Определение фазового состава тонких пленок сплава Fe-Ni методом мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение в физику методов нанесения нанопокровов	7	1	подготовка к устному опросу	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Теория зародышеобразования и формирования пленок	7	2-3	подготовка к устному опросу по теории зародышеобразования и формирования тонких пленок	2	устный опрос
3.	Тема 3. Свойства тонких пленок	7	4-5	подготовка к устному опросу по свойствам тонких пленок	4	устный опрос
4.	Тема 4. Физические основы и принципы действия вакуумных устройств/насосов	7	6	подготовка к отчету по лабораторной работе "Определение основных параметров вакуумных насосов (рото	6	отчет
5.	Тема 5. Техника и методы получения тонких пленок вакуумной технологией	7	7-8	подготовка к отчету по лабораторной работе "Получение тонких пленок металлов методом термического в	6	отчет
6.	Тема 6. Плазменные технологии нанесения тонких пленок	7	9-11	подготовка к коллоквиуму	2	коллоквиум
				подготовка к отчету по лабораторной работе "Получение тонких пленок на диэлектрической подложке мет	8	отчет
7.	Тема 7. Ионно-лучевой синтез тонких пленок	7	12-14	подготовка к отчету по лабораторной работе "Синтез имплантированных слоев на подложке Si ионно-л	14	отчет

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
8.	Тема 8. Экспериментальные методы изучения поверхности и тонких пленок	7	15-18	подготовка к отчету по лабораторной работе "Определение фазового состава тонких пленок сплава Fe-Ni	14	отчет
	Итого				58	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

В процессе преподавания данной дисциплины будут использованы следующие образовательные технологии: лекции, лабораторные занятия, консультации, зачет, самостоятельная работа студента с лекционным материалом и рекомендованной литературой, а также получение знаний через рекомендованные преподавателем информационные сайты Интернета.

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

Тема 1. Введение в физику методов нанесения нанопокровтий

устный опрос , примерные вопросы:

Понятие тонкопленочного состояния вещества. Малые частицы, кластеры, основные определения. Методы нанесения нанопокровтий. Применение тонких пленок в электронике, микроэлектронике, оптике, машиностроении, медицине, приборостроении и других областях науки и техники (формирование компетенций ПК-22,ПК-23,ПК-24,ПК-25,ПК-27,ПК-3,ПК-4)

Тема 2. Теория зародышеобразования и формирования пленок

устный опрос , примерные вопросы:

Теория зародышеобразования и формирования тонких пленок. Процессы взаимодействия атомов, молекул и агломератов с поверхностью, процессы адсорбции и конденсации, механизм формирования зародышей, формирование субкритических и критических зародышей. Роль поверхностной и объемной диффузии в формировании зародышей. Время жизни зародышей, механизм коалесценции островковых формирований и роста зародышей, их структуризации. Критическая температура конденсации, температура изменения механизма конденсации, температура возникновения преимущественной ориентации. Физико-химические особенности этапов формирования пленки, образования дефектов в процессе роста пленки. (формирование компетенций ПК-22,ПК-23,ПК-24,ПК-25,ПК-27,ПК-3,ПК-4)

Тема 3. Свойства тонких пленок

устный опрос , примерные вопросы:

Физико-химические свойства тонких пленок: механические свойства - адгезия пленок, физика и химия адгезии, способы изменения адгезии, напряжения в пленках, механические свойства пленок -износостойкость, коэффициент трения, упругость, микротвердость и прочность. Особенности электрических и транспортных свойств тонких пленок: проводимость сплошных пленок, отрицательный ТКС наноразмерных диспергированных пленок, высокочастотные характеристики тонких пленок. (формирование компетенций ПК-22,ПК-23,ПК-24,ПК-25,ПК-27,ПК-3,ПК-4)

Тема 4. Физические основы и принципы действия вакуумных устройств/насосов

отчет , примерные вопросы:

по лабораторной работе "Определение основных параметров вакуумных насосов (роторный форвакуумный насос, диффузионный, турбомолекулярный)" (формирование компетенций ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-27, ПК-3, ПК-4)

Тема 5. Техника и методы получения тонких пленок вакуумной технологией

отчет , примерные вопросы:

по лабораторной работе "Получение тонких пленок металлов методом термического вакуумного напыления" (формирование компетенций ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-27, ПК-3, ПК-4)

Тема 6. Плазменные технологии нанесения тонких пленок

коллоквиум , примерные вопросы:

по темам: Теория зародышеобразования и формирования пленок Свойства тонких пленок Физические основы и принципы действия вакуумных устройств/насосов Техника и методы получения тонких пленок вакуумной технологией

отчет , примерные вопросы:

по лабораторной работе "Получение тонких пленок на диэлектрической подложке методом ВЧ магнетронного осаждения" (формирование компетенций ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-27, ПК-3, ПК-4)

Тема 7. Ионно-лучевой синтез тонких пленок

отчет , примерные вопросы:

по лабораторной работе "Синтез имплантированных слоев на подложке Si ионно-лучевым методом" (формирование компетенций ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-27, ПК-3, ПК-4)

Тема 8. Экспериментальные методы изучения поверхности и тонких пленок

отчет , примерные вопросы:

по лабораторной работе "Определение фазового состава тонких пленок сплава Fe-Ni методом мессбауэровской спектроскопии конверсионных электронов" (формирование компетенций ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-27, ПК-3, ПК-4)

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

В рамках бально-рейтинговой системы данной программой предусмотрены следующие виды контроля усвоения теоретического и практического материала: текущий контроль - контроль за выполнением лабораторных работ (Приложение 1), устный опрос, письменный отчет по лабораторным работам. Итоговый контроль - зачет (Приложение 2)

Перечисленные формы контроля по дисциплине приведут к формированию следующих компетенций: ПК-3, ПК-4, ПК-27, ПК-25, ПК-24, ПК-23, ПК-22.

Контрольные вопросы и задачи к практикуму по физическим методам нанесения нанопокровов.

1. Физические процессы формирования тонких пленок. Кинетика процесса конденсации пленок.
2. Адсорбция, зародышеобразование, рост новой фазы,
3. Четыре стадии процесса роста пленки: образование островковой пленки, коалесценция островков, образование сетчатой структуры, формирование сплошной пленки.
4. Вакуум, единицы измерения разряжения, классификация вакуумных насосов, принцип действия основных типов вакуумных насосов.
5. Основные методы получения тонких пленок. Принципы, лежащие в основе этих методов. Преимущества и недостатки.
6. Классификация систем ионно-плазменного распыления материалов.
7. Принцип действия магнетронной системы распыления. Распыление на постоянном токе.
8. Область разрядного промежутка. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях.
9. Вольтамперная характеристика разряда. Условия существования стабильного разряда.

10. Порядок работы на установке ВУП-5М.
11. Принцип действия ВЧ магнетронного распыления.
12. Наблюдаемое на магнетроне свечение - отрицательное свечение или положительный столб?
13. Рассчитайте амплитуду движения иона в переменном ВЧ поле.
14. Как меняется напряжение зажигания разряда в зависимости от степени напуска рабочего газа в рабочий объем установки?
15. Преимущества и недостатки по сравнению с магнетронной распылительной системой на постоянном токе и ВЧ-распылением без магнитного поля.
16. Условия существования стабильного разряда.
17. Коэффициент распыления, его зависимость от технологических параметров. Расчет коэффициента распыления.
18. Как зависит величина ступеньки, возникающей в результате радиационного набухания (свеллинга) от плотности потока ионов при неизменных характеристиках мишени (K_1 , E_d , D , τ , T_s) и параметрах пучка (E , тоблечения)?
19. При имплантации ионов в германий произошла полная аморфизация приповерхностного слоя. Для каких имплантированных ионов ^{31}P или ^{56}Fe доза аморфизации будет меньше и почему? Параметры пучка и условия облучения одинаковы в обоих случаях
20. Как влияет облучение ионами на диффузию атомов в кристалле?
21. К чему обычно приводит наличие селективного травления?
22. Какова основная причина значительного увеличения проводимости при больших дозах имплантации в полимеры?
23. Где, по вашему мнению, будет больше концентрация внедренных атомов в максимуме распределения при имплантации ионов железа в различные мишени: монокристаллический Si или аморфный Si и почему?
24. В ионном ускорителе используется магнитный масс-сепаратор ионов. Однозарядные ионы $^{35}\text{S}^+$ и $^{160}\text{Yb}^+$ имеют одинаковую энергию E и имплантируются одновременно в мишень. Под действием постоянного магнитного поля H , ионы начинают двигаться по круговым орбитам с радиусом R . Показать, какой из ионов отклонится на больший угол после прохождения масс-сепаратора (найти зависимость $R=R(E, H, M)$).
25. Порядок работы на установке ИЛУ-3.

Задача 1.

Найти концентрацию внедренных ионов в максимуме распределения, если имплантация производилась ионами Fe^+ в Si при энергии 40 кэВ (средний проецированный пробег равен 35 нм, стандартное отклонение 15 нм), время облучения 15 мин., плотность ионного тока 10 мкА/см². Эффектами распыления и перераспределения внедренных атомов пренебречь.

Задача 2.

Найти концентрацию атомов примеси в кремнии на глубине $R_p + 2 \cdot \Delta R_p$ при имплантации ионов $^{27}\text{Al}^+$ с энергией 40 кэВ и дозой $\Phi = 1 \cdot 10^4$ мкКл/см². Эффектом распыления пренебречь.

Задача 3.

Найти концентрацию атомов примеси в кремнии на глубине $R_p + 2 \cdot \Delta R_p$ при имплантации ионов $^{56}\text{Fe}^+$ с энергией 40 кэВ и дозой $\Phi = 1 \cdot 10^4$ мкКл/см². Эффектом распыления пренебречь.

Задача 4.

Определить режим имплантации (E , Φ , тобл) при легировании кремния ионами фосфора. Максимум ионов фосфора должен находиться на глубине 50 нм, при этом концентрация внедренных атомов в максимуме распределения должна быть 10^{19} ат/см³. Выбрать плотность тока равной 1 мкА/см². Атомная плотность кремния составляет $N_0 = 5 \cdot 10^{22}$ ат/см³.

Задача 5.

Чему равна толщина распыленного слоя при имплантации ионов Co^+ в Si, если коэффициент распыления равен $S = 1,5$ ат/ион, доза имплантированных ионов $\Phi = 4 \cdot 10^4$ мкКл/см², атомная плотность кремния $N_0 = 5 \cdot 10^{22}$ ат/см³?

Задача 6.

При ионной имплантации в результате распыления образовалась ступенька на границе облученной и необлученной части образца. Какова величина этой ступеньки, если облучение проводилось однозарядными ионами при плотности ионного тока 1 мкА/см² в течение 180 минут, а коэффициент распыления составил $S = 2$ ат/ион? Плотность атомов в материале мишени составляла $N_0 = 8 \cdot 10^{22}$ ат/см³.

Задача 7.

Определить режимы имплантации (E , Φ , топл) при ионном легировании кремния фосфором. Исходные параметры: пластина монокристаллического кремния, разориентированная для устранения эффекта каналирования. Максимум ионов фосфора должен находиться на глубине 50 нм, при этом концентрация внедренных атомов в максимуме должна быть 10^{19} ат/см³. Выбрать плотность ионного тока равным 1 мкА/см². Эффектами распыления и перераспределения внедренных атомов пренебречь. Атомная плотность кремния $N_0 = 5 \cdot 10^{22}$ ат/см³.

7.1. Основная литература:

Основная литература

1. Гусев, А.И.. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев.? Изд.2-е, исправленное.? М.: Физматлит, 2009.?416 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2173
2. Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники. - М: Физматлит, 2011. - 784с. <http://e.lanbook.com/view/book/5258>
3. Стойков, И.И. Основы нанотехнологии и нанохимии: [учебное пособие] / Стойков И. И., Евтюгин Г. А.; Казан. (Приволж.) федер. ун-т, Хим. ин-т им. А. М. Бутлерова .? Казань : [Казанский университет], 2010 .? 236 с.: ил.

7.2. Дополнительная литература:

Дополнительная литература

1. Елисеев, А. А. Функциональные наноматериалы : учебное пособие для студентов старших курсов, обучающихся по специальности 020101 (011000) - Химия / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин ; под ред. акад. Ю.Д. Третьякова .? Москва : Физматлит, 2010 .? 452 с. : ил., цв. ил., портр., табл.
2. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий: методы и применение/ под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга; пер. с англ. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013 - 582 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=8689

7.3. Интернет-ресурсы:

<http://ru.wikipedia.org/wiki> - <http://ru.wikipedia.org/wiki>
<http://www.nanometer.ru> - <http://www.nanometer.ru>
<http://www.nanorf.ru/> - <http://www.nanorf.ru/>
<http://www.portalnano.ru> - <http://www.portalnano.ru>
<http://www.rsci.ru/nanotech> - <http://www.rsci.ru/nanotech>
<http://www.rusnano.com> - <http://www.rusnano.com>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Лабораторный практикум по физическим методам нанесения нанопокровов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Форвакуумный роторный вакуумный насос

Диффузионный вакуумный насос

Турбомолекулярный вакуумный насос

Установка для термического вакуумного напыления ВУП-4

Магнетронная распылительная система ВУП-5М

Ионно-лучевой ускоритель ИЛУ-3

Рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М

Минидифрактометр МД-10 "ЭФА"

Мессбауэровский спектрометр конверсионных электронов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Вагизов Ф.Г. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Тагиров Л.Р. _____

"__" _____ 201__ г.