

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

Институт информатики, электроники и компьютерных технологий

Кафедра электроники и цифровых информационных технологий

СОГЛАСОВАНО
Руководитель образовательной
программы
_____ Тереш Р.Ш.
« ____ » _____ 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора ИИЭиКТ
_____ Черкесова Н.В.
« ____ » _____ 2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика и технология тонких пленок в электронике и нанoeлектронике»

Направление 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Профиль: Современные информационные технологии в электронной технике

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Форма обучения
очная

Нальчик 2021

Рабочая программа дисциплины «Физика и технология тонких пленок в электронике и наноэлектронике» /сост. проф.Дедков Г.В.– Нальчик: КБГУ, 2021

Рабочая программа предназначена для преподавания дисциплины студентам очной формы обучения для направления : 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного приказом Министерство образования и науки РФ «12» марта 2015 г. №218

Содержание

1	Цели и задачи освоения дисциплины.....
2	Место дисциплины в структуре ООП ВО.....
3	Требования к результатам освоения содержания дисциплины.....
4	Содержание и структура дисциплины (модуля).....
4.1	Содержание разделов дисциплины.....
4.2	Структура дисциплины.....
4.3	Лабораторные работы.....
4.4	Практические занятия (семинары).....
4.5	Курсовой проект (курсовая работа).....
4.6	Самостоятельное изучение разделов дисциплины.....
5	Образовательные технологии.....
5.1	Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях.....
6	Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....
7	Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля).....
7.1	Основная литература.....
7.2	Дополнительная литература.....
7.3	Периодические издания.....
7.4	Интернет-ресурсы.....
7.5	Методические указания к лабораторным занятиям
7.6	Методические указания к практическим занятиям
	Методические указания к курсовому проектированию и другим видам самостоятельной работы.....
7.7	Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий
8	Материально-техническое обеспечение дисциплины.....

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение физических явлений, происходящих на различных этапах процесса напыления и роста пленок; существующих теорий роста тонких пленок, рассмотрению современных методов роста и контроля качества пленок, их возможностях и ограничениях; взаимосвязи физических свойств тонких пленок со структурой и дефектами.

2 Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина относится к дисциплинам вариативной части модуля профессиональной подготовки, базируется на результатах изучения дисциплин естественно-научного цикла и, в том числе математики, физики, химических дисциплин, информатики, а также дисциплин профиля: «Физика твердого тела».

3 Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Для успешного усвоения дисциплины студент должен знать :

- классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории;
- основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока;
- основы физики вакуума, плазмы и твердого тела;
- принципы использования физических эффектов в вакууме, плазме и в твердом теле в приборах и устройствах вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой и оптической электроники;
- их конструкции, параметры и характеристики и методы их моделирования;

а) общепрофессиональные (ОПК): 1.7.

способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7);

б) профессиональных (ПК): 8

способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-8);

Приобрести опыт деятельности

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- физические основы технологий напыления тонких плёнок и методы измерения их толщины;
- специфику структуры тонких пленок, основные типы дефектов структуры тонких пленок, взаимосвязь физических свойств тонких пленок со структурой и дефектами,
- область применения технологий напыления тонких плёнок;

Уметь:

- переносить полученные знания о технологии напыления тонких плёнок на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций;

Владеть

- информацией о значении тонких пленок в современной науке, технике и технологиях; областях применения и перспективах развития материалов твердотельной электроники и приборов на их основе;
- методами планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием технологии напыления тонких плёнок;
- методиками работы на напылительных установках;
- методами контроля параметров тонких плёнок и выбора технологических режимов.

4 Содержание и структура дисциплины

4.1 Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Особенности роста тонких пленок.

Лекция 1. Понятия «пленка» и «тонкая пленка». Примеры свойств и возможностей применения тонких пленок.

Лекция 2. Этапы процесса осаждения пленок и их физико-химические особенности. Конденсация и образование зародышей, рост тонких пленок. Капиллярная модель зародышеобразования.

Лекция 3. Четыре стадии роста пленки. Влияние характера зарождения пленок на их структуру.

Лекция 4. Вакуум-термическая и химико-термическая подготовка поверхности. Методы нагрева и охлаждение подложек, измерения температуры.

Тема 2 Технология тонких пленок.

Лекция 5. Физические свойства тонких пленок. Область применения тонких пленок. Тонкие пленки в вакуумной технике, микроэлектронике, оптике. Подложки микросхем. Требования к поверхности подложек. Микроструктура и микрорельеф.

Лекция 6. Методы получения тонких пленок. Методы исследования свойств тонкопленочных покрытий.

Лекция 7. Нанесение пленок путем термического испарения в вакууме. Характеристики этапов испарения, переноса и конденсации. Влияние технологических факторов на свойства пленок. Этапы формирования потока, транспорта и осаждения. Проволочные и ленточные нагреватели. Индукционный и электроннолучевой нагрев. Термоионный режим холодной и горячей плазмы. Специфика технологии проводящих и диэлектрических пленок, защитных покрытий. Таблица режимов, материалов и скорости осаждения.

Лекция 8. Вакуумно-термическое испарение, оценка степени загрязнения пленок, конструкции испарителей, испарение соединений и сплавов, распределение осажденных пленок по толщине. Скорость испарения. Энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение. Расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке. Способы нагрева загрузки и конструкции испарителей. Испарение сплавов и соединений. Загрязнения в пленках и требования к вакууму.

Лекция 9. Лазерное испарение. Взаимодействие лазерных пучков с поверхностью материалов. Глубины проникновения, коэффициенты отражения, механизмы передачи энергии. Испарение материалов под действием лазеров. Импульсное лазерное испарение. Влияние мощности и длительности импульса.

Тема 3. Ионно-плазменное распыление

Лекция 10. Катодное вакуумное распыление. Принцип действия. Параметры катодного распыления. Физическое и реактивное катодное распыление. Влияние рабочих характеристик на параметры технологических процессов. Область применения катодного распыления.

Лекция 11. Ионное распыление, коэффициент распыления, скорость распыления, оценка степени загрязнения при ионном распылении, диодная система распыления на постоянном токе, высокочастотное распыление, триодная система ионного распыления, магнетронное распыление магнитных и немагнитных материалов; автоэмиссионное и ионно-кластерное распыление; реактивное распыление. Контроль процесса осаждения тонких пленок.

Тема 4. Методы нанесения композиционных покрытий

Лекция 12. Механические методы нанесения покрытий: окунание, полив, протяжка, центрифугирование, трафаретная печать, пульверизация. Электрофизические методы: электростатическое распыление, электрофорез.

Лекция 13. Физические свойства тонких пленок: толщина, внутренние напряжения, адгезионная прочность, электрическое сопротивление. Методы контроля: интерферометрия, эллипсометрия, микрогравиметрия, в том числе с использованием пьезокварцевых резонаторов.

4.2 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 (144 часа)

Вид работы	Трудоемкость, часов		
	№ семестра	7 семестр	Всего
Общая трудоемкость		4 ЗЕ	144

Вид работы	Трудоемкость, часов		
	№ семестра	7 семестр	Всего
Аудиторная работа:		39	39
<i>Лекции (Л)</i>		26	26
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>			
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>		13	13
Самостоятельная работа:		75	75
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)		3	
Расчетно-графическое задание (РГЗ)			
Реферат (Р)			
Эссе (Э)			
Самостоятельное изучение разделов			
Контрольная работа (К)			
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.),			
Подготовка и сдача экзамена		27	27
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)		Зачет, экзамен	

4.3 Лабораторные работы

№ ЛР	№ раздела	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1		Получение металлических пленок вакуумно-термическим испарением	
2		Термическое окисление тонкой пленки ванадия на стекле	
3		Окисление тонкой пленки титана быстрым фотонным отжигом	
4		Измерение толщины тонкой металлической пленки интерферен	
5		Измерение поверхностного сопротивления 4-х зондовым методом	
6		Исследование светопропускания тонких пленок диоксида ти-	

4.6 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

№ раздела	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
2	Электронно-лучевое осаждение тонких пленок	4
3	Сверхпроводящие тонкие пленки	4

5 Образовательные технологии

5.1 Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия (Л, ПР, ЛР)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
2	Лекция 7	Нанесение пленок путем термического испарения в вакууме. Характеристики этапов испарения, переноса и конденсации. Влияние технологических факторов на свойства пленок. Этапы формирования потока, транспорта и осаждения. Проволочные и ленточные нагреватели. Индукционный и электроннолучевой нагрев. Термоионный режим холодной и горячей плазмы. Специфика технологии проводящих и диэлектрических пленок, защитных покрытий. Таблица режимов, материалов и скорости осаждения.	
Итого:			

6 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства для контроля знаний студентов по дисциплине определяются в соответствии с учебным планом образовательной программы и в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов КБГУ.

6.1. Формы и содержание текущего контроля

6.1.1. План-график организации текущего контроля

№	Мероприятие	Тематика и содержание контроля	Форма контроля	Сроки проведения
1	1 к. т.	Раздел 1	а) коллоквиум б) компьютерное тестирование	7 семестр, 5-6 неделя
2	2 к. т.	Раздел 2	а) коллоквиум б) компьютерное тестирование	7 семестр, 11-12 неделя
3	3 к. т.	Раздел 3	а) коллоквиум б) компьютерное тестирование	7 семестр, 16-17 неделя

6.1.2. Образцы вариантов заданий для коллоквиума (1 к. т.)

к разделу «**Физика и технология тонких пленок в электронике и нанoeлектронике**»

7 семестр

БИЛЕТ № 1.

1. Диэлектрические пленки и области их применения в микроэлектронике.
2. Омические контакты и контактные системы.

БИЛЕТ № 2.

1. Лазерная жидкофазная кристаллизация полупроводников.
2. Зарождение и рост тонких пленок.

БИЛЕТ № 3.

1. Основные характеристики технологии осаждения тонких пленок.
2. Лазерная твердофазная кристаллизация полупроводников.

6.1.3. Образцы заданий для компьютерного тестирования (прилагаются)

к разделу. «**Физика и технология тонких пленок в электронике и нанoeлектронике**»

8 семестр

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЧЕТ

по дисциплине «**Физика и технология тонких пленок в электронике и нанoeлектронике**»

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН

по дисциплине «**Физика и технология тонких пленок в электронике и нанoeлектронике**»

1. Диэлектрические пленки и области их применения в микроэлектронике.
2. Омические контакты и контактные системы.
3. Лазерная жидкофазная кристаллизация полупроводников.
4. Зарождение и рост тонких пленок.
5. Основные характеристики технологии осаждения тонких пленок.
6. Лазерная твердофазная кристаллизация полупроводников.
7. Получение тонких пленок методом термического испарения в высоком вакууме.
8. Технология формирования аморфных пленок кремния.
9. Термодинамическая теория зародышеобразования.
10. Свойства структуры металл-полупроводник.
11. Методы получения полупроводниковых слоёв и переходов.
12. Нанесение плёнок магнетронным распылением мишеней.

13. Тонкие пленки. Основные параметры и их измерение.
14. Формирование металлических плёнок методом катодного распыления. Механизм катодного распыления.
15. Конструкции магнетронных распылительных систем.
16. Зарождение и рост тонких пленок.
17. Силицидные резисторы. Формирование и свойства резисторов.
18. Основные характеристики α -SiH солнечных элементов.
19. Диффузия примесей в кремнии.
20. Резистивные плёнки. Получение и параметры пленок.
21. Плазмохимическое травление диэлектрических плёнок.
22. Свойства окисных плёнок.
23. Эпитаксия (общие сведения). Эпитаксиальное наращивание полупроводниковых слоёв.
24. Диффузия примесей в Si.
25. Механизм испарения сплавов (закон Рауля).
26. Тонкоплёночные солнечные элементы.
27. Тонкопленочные конденсаторы.
28. Гетеропереход. Формирование и основные параметры.
29. Рост зародышей и формирование сплошных плёнок.
30. Формирование металлических плёнок методом катодного распыления. Механизм катодного распыления.
31. Химическое осаждение из газовой фазы.
32. Теория испарения. Скорость испарения. Уравнение Герца-Кнудсена.
33. Молекулярно-лучевая (пучковая) эпитаксия.
34. Зависимость коэффициента распыления от параметров процесса катодного распыления.
35. Термическое окисление металлических пленок.
36. Статистическая теория зародышеобразования.
37. Свободное испарение в вакууме и эффузия.
38. Методы измерения вакуума.
39. Методы и средства получения вакуума..
40. Методы измерения толщины плёнок.
41. Вакуум. Связь степени вакуума и средней длины свободного пробега атомов и молекул остаточного газа.
42. Свойства структуры металл-полупроводник.
43. Теория испарения. Свободное испарение в вакууме и эффузия
44. Термодинамическая теория зародышеобразования.
45. Свойства окисных плёнок металлов.
46. Вакуум. Средства откачки и измерения вакуума.

7 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература

1. Антоненко С.В. Технология тонких пленок. Уч.-мет. пособие, М.МИФИ, 2008 имеется электронный вариант
2. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. – М.: Техносфера, 2007.
3. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. М.: Техносфера, 2010. – 528с.

4.Белокрылов И.В. Основы вакуумной техники Конспект лекции. Омск, 2007 (15 экз)

5.Никифорова Н.Н. Физика тонких пленок и малых частиц .Конспект лекции. БГУ, Минск, 2010 (15 экз)

6. Пасынков В.В. Материалы электронной техники: Учеб.для вузов по спец.электрон.техники / В.В. Пасынков; В.В.Пасынков, В.С.Сорокин. - 3-е изд. - СПб.: Лань, 2001. 367с.

7.2 Дополнительная литература

1.Антоненко С.В. Методические и лабораторные работы по курсам «Технология наноструктур и технология тонких пленок» Уч.-мет.пособие, М., МИФИ , 2011 72 стр.

2.Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г. Ионно-лучевые методы получения тонких пленок. Уч.-мет.пособие по практикуму «Физике поверхности и тонких пленок», Казан.гос.ун. , 2010, (15 экз).

3.Тешев Р.Ш., Кузнецов Г.Д., Гонов С.Ж., Гаев Д.С. Тонкие пленки в микро- и наноэлектронике. Лабораторный практикум, 2010, (50 экз).

7.3 Периодические издания

7.4 Интернет-ресурсы

1. <http://www.nanoindustries.com>

2. <http://www.nanometer.ru>

3. <http://www.nanotechweb.org>

5. <http://www.newchemistry.ru>

7. <http://www.sciam.ru>

7.5 Методические указания к лабораторным занятиям

Методические указания приводятся в описании всех лабораторных работ, предусмотренных настоящим курсом.

7.6 Методические указания к практическим занятиям - не предусмотрены программой.

Методические указания к курсовому проектированию и другим видам самостоятельной работы.... - **не предусмотрены программой**

7.7 Программное обеспечение современных информационно-коммуникационных технологий

При выполнении лабораторного практикума студенты в обязательном порядке проводят обработку и визуализацию экспериментальных данных с применением программных сред Microsoft Excell, MathCad, Origin. Компьютерное моделирование, предусмотренное при выполнении отдельных лабораторных работ, основано на использовании программного пакета LabView.

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Чтение лекций по данной дисциплине проводится как в классической форме, так и с использованием мультимедийных презентаций. Презентация позволяет преподавателю четко структурировать материал лекции, экономить время, затрачиваемое на рисование на доске схем, написание формул и других сложных объектов, что дает возможность увеличить объем излагаемого материала. Кроме того, презентация позволяет очень хорошо иллюстрировать лекцию не только схемами и рисунками, которые есть в учебном пособии, но и полноцветными фотографиями, рисунками, портретами ученых и т.д. Электронная презентация позволяет отобразить физические и химические процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала. Студентам предоставляется возможность копирования презентаций для самоподготовки и подготовки к экзамену.

Поскольку лекции читаются для одной группы студентов (20 – 25 чел.) непосредственно в аудитории контролируется усвоение материала основной массой студентов путем тестирования по отдельным модулям дисциплины.

лицензионное программное обеспечение:

- Продукты Microsoft (Desktop EducationALNG LicSaPk OLVS Academic Edition Enterprise) подписка (Open Value Subscription);

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security Стандартный Russian Edition;

свободно распространяемые программы:

☐ Academic MarthCAD License - математическое программное обеспечение, которое позволяет выполнять, анализировать важнейшие инженерные расчеты и обмениваться ими;

☐ WinZip для Windows - программ для сжатия и распаковки файлов;

☐ Adobe Reader для Windows – программа для чтения PDF файлов;

Far Manager - консольный файловый менеджер для операционных систем семейства Microsoft Windows.

Математический пакет «MathCad 2000»

Математический пакет «Maple»

САПР Electronics Workbench.

САПР PSpice.

Лабораторный практикум студентов выполняется в учебно-научной лаборатории факультета Микроэлектроники и компьютерных технологий и в компьютерных классах. Для

компьютерного моделирования предусмотрены два компьютерных класса с 30 ПК, современным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Лист изменений (дополнений)
в рабочей программе дисциплины (модуля)
«Физика и технология тонких пленок в электронике и наноэлектронике»
по направлению подготовки «Электроника наноэлектроника»
2021-2022 уч.г.

№ п/п	Элемент (пункт) РПД	Перечень выносимых изменений (дополнений)	Примечание

Обсуждена и рекомендована на заседании кафедры электроники и цифровых информационных технологий протокол № ____ от «____» _____ 2021 г.
Зав.кафедрой _____ Тешев Р.Ш.