**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учебно-методическое объединение по образованию

в области информатики и радиоэлектроники

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования

Республики Беларусь

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.Г.Баханович

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Регистрационный № ТД-\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/тип.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине**

**для специальности**

**1-39 02 02 Проектирование и производство программно-управляемых электронных средств**

|  |  |
| --- | --- |
| **СОГЛАСОВАНО**  Председатель Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.А. Богуш  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | **СОГЛАСОВАНО**  Начальник Главного управления профессионального образования Министерства образования  Республики Беларусь  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.Н.Пищов  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | **СОГЛАСОВАНО**  Проректор по научно-методической работе Государственного учреждения образования «Республиканский  институт высшей школы»  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ И.В. Титович  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | Эксперт-нормоконтролер  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

Минск 2023

**СоставителЬ:**

А.А.Позняк, доцент кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТЫ**:

Кафедра химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 6 от 09.01.2023);

Ю.В.Радюш, заведующий лабораторией физики твердого тела Государственного научно-производственного объединения «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:**

Кафедрой электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 8 от 19.12.2022);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»   
(протокол № 7 от 17.03.2023);

Научно-методическим советом по электронным системам и технологиям Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 7 от 13.03.2023)

Ответственный за редакцию: С.С. Шишпаронок

**Пояснительная записка**

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Физико-химические основы технологий производства электронных устройств» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-39 02 02 Проектирование и производство программно-управляемых электронных средств в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования первой ступени и типового учебного плана вышеуказанной специальности.

Новые направления в технологии производства радиоэлектронных устройств требуют от разработчиков понимания множества сложных физических и химических явлений и процессов. Без ясного представления о физической природе явлений, определяющих работу конструкций радиоэлектронных устройств и химических аспектов технологии их изготовления, без умения математически описать эти явления, невозможно заниматься проектированием, как самих устройств, так и технологических процессов их изготовления. Для понимания принципов работы микро- и наноэлектронных устройств, возможности их использования в новых разработках электронной аппаратуры студент должен овладеть необходимыми знаниями, включающими в себя качественное и количественное описание строения полупроводниковых материалов, энергетического спектра и статистики носителей заряда и фононов, теории переноса, оптических и фотоэлектрических свойств твердых тел и контактных явлений. С другой стороны, производственные процессы изготовления радиоэлектронных устройств в настоящее время основываются на современной физической химии, что подразумевает изучение физико-химических свойств используемых материалов, методов получения новых материалов с заданными свойствами.

Воспитательное значение учебной дисциплины «Физико-химические основы технологий производства электронных устройств» заключается в формировании у обучающихся технологической культуры и научного мировоззрения; развитии исследовательских умений, аналитических и творческих способностей, необходимых для решения научных и практических задач; развитии познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности; формировании способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации.

Изучение данной учебной дисциплины способствует созданию условий для формирования интеллектуально развитой личности обучающегося, которой присущи стремление к профессиональному совершенствованию, активному участию в экономической и социально-культурной жизни страны, гражданская ответственность и патриотизм.

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели учебной дисциплины: овладение физико-химическими основами производства материалов электронных устройств, пониманием характера взаимодействия различных веществ материалов, основанным на знании их физических, химических свойств и физико-химических закономерностях протекания процессов; освоение технологических подходов к выращиванию монокристаллов, нанесению и удалению различных слоев на поверхности твердых тел, модифицированию твердотельных структур, образующих активные и пассивные электронные компоненты.

Задачи учебной дисциплины:

приобретение знаний в области теоретических основ и практики реализации различных способов получения и обработки материалов, обеспечивающих высокую эффективность, надежность и долговечность функционирования приборов;

изучение физико-химических процессов, протекающие в твердом теле или на его поверхности при удалении и нанесении веществ в жидких, реактивных и инертных газовых средах, при термической диффузии, ионной имплантации, окислении, эпитаксии, в вакууме, газовой фазе, в растворах и расплавах;

освоение навыков использования математического аппарата и основных законов физики, химии в конструировании, технологии изготовления и эксплуатации электронных устройств;

формирование понимания физико-химической сущности явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных факторов в условиях производства и эксплуатации, и их влияния на свойства материалов;

изучение зависимости между химическим составом, строением и свойствами материалов;

овладение методами расчета основных параметров технологических процессов изготовления электронных устройств, а также основных характеристик материалов.

Базовыми учебными дисциплинами для учебной дисциплины «Физико-химические основы технологий производства электронных устройств» являются «Физика», «Химия», «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия». В свою очередь учебная дисциплина «Физико-химические основы технологий производства электронных устройств» является базой для таких учебных дисциплин, как «Технология производства деталей электронных средств», «Проектирование и производство изделий интегральной электроники».

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Физико-химические основы технологий производства электронных устройств» формируются следующие базовые профессиональные компетенции:

анализировать вещества, их свойства, строение и превращения, происходящие в результате химических реакций, рассчитывать результаты химических реакций в соответствии с законами химии;

применять основные понятия и законы физики для изучения физических явлений и процессов;

применять знания о физической природе явлений и химических процессов, определяющих технологию изготовления электронных устройств, физико-химические законы при разработке и производстве электронных устройств.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

*знать:*

основные понятия и теоретические положения физики твердого тела, основы электронной структуры твердых тел, позволяющие прогнозировать и объяснять комплекс электрических свойств металлов, полупроводников и диэлектриков и разрабатывать методы управления ими;

строение твердого тела, дефекты кристаллической структуры и их роль в формировании свойств материалов;

основы теории фазовых равновесий, позволяющие определять и изменять фазовое состояние системы в зависимости от внешних параметров, методы термодинамического анализа фазовых равновесий в различных системах;

закономерности физико-химических процессов и явлений, составляющих основу технологии микроэлектроники и производства радиоэлектронных средств;

новейшие достижения в области физики, химии, термические и нетермические физико-химические процессы, протекающие при изготовлении твердотельных электронных элементов в объеме или на поверхности твердого тела при взаимодействии полупроводников, металлов и диэлектриков, а также при воздействии на них различными методами;

*уметь:*

использовать достижения современных микро- и нанотехнологий в производстве изделий электроники; разработать технологию получения наноразмерных, аморфных и композиционных структур – наиболее перспективных современных материалов;

использовать методы теоретического и экспериментального исследования технологических процессов в практической деятельности;

использовать методы численной оценки порядка величин, характерных для создания конкретных изделий и их эксплуатации;

разработать технологию получения монокристаллических материалов – основы современной микро- и оптоэлектроники, лазерной техники и др.;

*владеть:*

методикой определения и расчета основных характеристик материалов для электронных устройств;

методикой расчета параметров оксидных, диффузионных и ионно-легированных слоев и тонких металлических пленок;

методикой расчетов коэффициента распыления материалов и параметров контакта металл- полупроводник.

Типовая учебная программа рассчитана на 216 учебных часов, из них – 80 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 48 часов, лабораторные занятия – 16 часов, практические занятия – 16 часов.

**ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

| Наименование раздела, темы | Всего аудиторных часов | Лекции | Лабораторные занятия | Практические занятия |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Раздел 1. Особенности строения и свойств материалов электронной техники** | **32** | **26** | **4** | **2** |
| Тема 1. Особенности строения твердых тел | 4 | 4 | - | - |
| Тема 2. Фазовые равновесия, диаграммы состояния | 4 | 4 | - | - |
| Тема 3. Волновые свойства микрочастиц. Виды химической связи | 4 | 4 | - | - |
| Тема 4. Физические процессы в проводниках и их свойства | 8 | 4 | 4 | - |
| Тема 5. Физические процессы в полупроводниках и их свойства | 6 | 4 | - | 2 |
| Тема 6. Диэлектрики. Физические процессы в диэлектриках | 4 | 4 | - | - |
| Тема 7. Магнитные материалы и их свойства | 2 | 2 | - | - |
| **Раздел 2. Физико-химические основы контактных явлений и поверхностных процессов** | **12** | **4** | **4** | **4** |
| Тема 8. Физико-химические основы контактных явлений в микроэлектронике | 8 | 2 | 4 | 2 |
| Тема 9. Физико-химические основы поверхностных процессов | 4 | 2 | **-** | 2 |
| **Раздел 3. Физико-химические основы процессов формирования материалов и структурных элементов электронных устройств** | **36** | **18** | **8** | **10** |
| Тема 10. Классификация и физико-химические основы процессов синтеза и обработки материалов, формирования структур и элементов электронных устройств | 2 | 2 | - | - |
| Тема 11. Выращивание кристаллических материалов электронных устройств | 2 | 2 | - | - |
| Тема 12. Физико-химические основы диффузионных процессов | 4 | 2 | - | 2 |
| Тема 13. Физико-химические основы процессов термического окисления | 8 | 2 | 4 | 2 |
| Тема 14. Физико-химические основы процессов формирования ионно-легированных слоев | 4 | 2 | - | 2 |
| Тема 15. Физико-химические основы эпитаксиальных процессов | 4 | 2 | - | 2 |
| Тема 16. Физико-химические основы нанесения тонких пленок в вакууме | 6 | 2 | 4 | - |
| Тема 17. Физико-химические основы химического осаждения пленок. Электрохимическое осаждение | 2 | 2 | - | - |
| Тема 18. Физико-химические основы процессов удаления веществ с поверхности твердых тел | 4 | 2 | - | 2 |
| **Итого** | **80** | **48** | **16** | **16** |

**СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

Раздел 1. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Тема 1: ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Агрегатные состояния вещества. Строение твердых тел: аморфные, стеклоподобные, кристаллические. Симметрия в твердых телах. Виды симметрии. Сингонии. Кристаллические решетки. Решетки Браве. Основные виды решеток, характеристики. Обозначение узлов и направлений в кристаллах. Индексы Миллера. Дефекты структуры кристаллов, их классификации. Точечные дефекты (по Шоттки, по Френкелю, примесные). Дислокации, виды дислокаций их образование. Точечные, линейные, поверхностные, объемные дефекты и их влияние на физические свойства материалов.

Тема 2: ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ, ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ

Термодинамические условия фазовых равновесий и переходов. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Закон распределения Нернста-Шилова. Коэффициент распределения и сегрегации. Правило фаз Гиббса. Комплексный физико-химический анализ и его основные принципы. Р-Т-диаграммы однокомпонентных систем. Термоанализ, Т-х-диаграммы бинарных систем и их основные типы. Диаграммы с простой эвтектикой, дистектикой и перитектикой. Диаграммы с ограниченной и неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Диаграммы состояния полупроводниковых систем и их значение для микроэлектроники.

Тема 3: ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ. ВИДЫ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Волновые свойства микрочастиц. Уравнение Шредингера. Движение свободной частицы. Туннельный эффект. Виды химической связи. Образование ионной связи. Свойства ионных кристаллов. Образование и свойства ковалентной связи. Особенности химической связи в полупроводниках. Образование металлической связи. Свойства металлов. Молекулярная связь: способ образования и свойства. Элементы зонной теории. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Причины образования запрещенных зон в энергетическом спектре кристалла. Металлы, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории. Распределение электронов. Понятие о дырках. Примесные уровни в полупроводниках.

Тема 4: ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОВОДНИКАХ И ИХ СВОЙСТВА

Общие сведения о проводниках. Металлические и неметаллические проводящие материалы. Ионики. Композитные проводники. Физическая природа электропроводности металлов. Статистика электронов в металлах. Удельное сопротивление металлических проводников. Правило Матиссена. Электрофизические свойства тонких металлических пленок. Размерные эффекты. Сверхпроводимость. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

Тема 5: ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ И ИХ СВОЙСТВА

Электропроводность полупроводников, ее зависимость от внешних факторов. Механизмы рассеяния и подвижность носителей заряда в полупроводниках. Собственные, примесные, вырожденные полупроводники. Соотношение Эйнштейна. Основные и неосновные носители заряда. Механизмы рекомбинации. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Закон Бугера-Ламберта. Эффекты Ганна. Гальваномагнитные явления.

Тема 6: ДИЭЛЕКТРИКИ. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДИЭЛЕКТРИКАХ

Классификация диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Механизмы поляризации. Диэлектрическая проницаемость. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты переменного поля. Электропроводность диэлектриков. Потери в диэлектриках. Виды диэлектрических потерь. Пробой диэлектриков. Неорганические диэлектрические материалы, их классификация Керамика и стекло, ситаллы. Оксидные пленки металлов. Стекловолокнистые материалы, люминофоры. Основные свойства, получение, применение в устройствах электроники. Органические диэлектрические материалы. Полимерные диэлектрики. Композиционные порошковые пластмассы. Волокнообразные диэлектрики, лаки, клеи, битумы, компаунды. Состав, свойства, использование в изделиях устройствах электроники. Активные диэлектрики, их классификация и применение в электронных устройствах. Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики, электреты, жидкие кристаллы (ЖК). Классификация и свойства ЖК. Электрооптические эффекты жидких кристаллов.

Тема 7: МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

Общие сведения о магнетизме. Классификация веществ по магнитным свойствам. Слабо и сильномагнитные материалы. Зависимость магнитных свойств от температуры. Ферро- и ферримагнетики. Магнитомягкие и магнитотвердые (магнитожесткие) материалы. Механизмы намагничивания в постоянном и переменном полях. Магнитострикционные материалы. Тонкие магнитные пленки.

Раздел 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНТАКТНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Тема 8: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕОСНОВЫ КОНТАКТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Работа выхода, термоэлектронная эмиссия. Классификация контактных явлений. Контактная разность потенциалов. Контакт двух металлов. Термоэлектрические эффекты в твердых телах. Контакт металл-полупроводник. Токоперенос в контакте с барьером Шоттки. Невыпрямляющий контакт. Электронно-дырочный переход. Равновесное состояние p-n-перехода. Выпрямление на p-n-переходе. Пробой p-n-перехода. Гетеропереходы.

Тема 9: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕОСНОВЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Поверхностная проводимость и рекомбинация. Влияние состояния поверхности на параметры полупроводниковых приборов. Эффект поля. Адсорбционные процессы на поверхности твердого тела. Адгезия и когезия. Смачивание и растекание.

Раздел 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Тема 10: КЛАССИФИКАЦИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ, ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР И ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.

Классификация процессов по природе, характеру их протекания и температурному диапазону: удаление веществ, диффузия, плавление, окисление, эпитаксия, спекание, термообработка, кристаллизация, рекристаллизация, фотолитография, сушка, обезгаживание и др. Основные способы передачи тепла в термических процессах: теплопроводность, конвекция, излучение. Базовые технологические процессы, стимулируемые температурой. Технологические процессы, осуществляемые при физическом воздействии: УФ, микроволновое, радиационное облучение, воздействие ультразвуком и т.д.

Тема 11: ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОНЫХ УСТРОЙСТВ

Процессы роста кристаллов. Методы и технологии выращивания кристаллов: одно- и двухтемпературные методы (вертикальный и горизонтальный), метод обменных реакций. Методы выращивания монокристаллов: Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, химических транспортных реакций, выращивание монокристаллов из расплава-раствора, метод бестигельной зонной плавки, метод Вернейля, сольвотермальные методы, в т.ч. с применением сверхкритических флюидов и др. Методы формирования микро- и нанокристаллических порошков.

Тема 12: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Механизм диффузии примесей в идеальных и реальных кристаллах. Законы диффузии. Коэффициент диффузии. Зависимость коэффициента диффузии от температуры, концентрации примесей, электрического поля. Диффузия из бесконечного и конечного источников. Распределение примесей при диффузии. Влияние взаимной диффузии и реакций на характеристики изделий микроэлектроники. Химия и физика границ раздела на поверхности и в объеме твердых тел. Монокристаллические и поликристаллические слои. Аморфные, мелко- и крупнокристаллические слои. Диффузия по границам зерен. Электродиффузия в тонких слоях. Взаимодиффузия и реакции в контактах металл-металл, металл-полупроводник. Образование силицидов.

Тема 13: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ

Законы роста оксидных слоев. Кинетика процесса термического окисления кремния. Соотношение Дила-Гроува. Механизмы роста термического оксида кремния. Химические процессы при термическом окислении в сухом кислороде и в парах воды. Влияние примесей в кремнии на скорость роста оксидных слоев. Плазменное окисление.

Тема 14: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЕВ

Пробеги ионов в аморфных и монокристаллических мишенях. Электронное и ядерное торможение. Эффект каналирования в монокристаллах. Пространственное распределение внедренных ионов. Образование радиационных дефектов при ионной имплантации. Радиационно-стимулированная диффузия. Отжиг дефектов. Модификация структуры твердых тел под действием ионной бомбардировки.

Тема 15: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Кинетика и механизмы процессов эпитаксии. Гомогенное и гетерогенное зарождение новой фазы. Влияние физико-химических факторов и параметров процесса на структуру и свойства эпитаксиальных слоев. Автоэпитаксия и гетероэпитаксия из газовой и жидкой фаз. Эпитаксия соединений АIIIBV и твердых растворов на их основе. Создание наноструктур с применением эпитаксиальных методов.

Тема 16: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК В ВАКУУМЕ

Равновесное давление паров. Сублимация. Скорость и механизмы испарения. Термодинамика и кинетика процессов испарения простых и сложных веществ. Пространственное распределение испаряемых частиц. Состав конденсируемого слоя при испарении. Конденсация испаренных частиц на подложке. Методы испарения электронным лучом, лазерным пучком, испарение вакуумной дугой, ионное распыление, эпитаксия молекулярным лучом, магнетронное распыление и др. Особенности физико-химических процессов при электронно-лучевом испарении. Классификация и основные характеристики процессов электронно-лучевой технологии в микроэлектронике. Физические основы взаимодействия ускоренных электронов с веществом. Пробеги электронов в твердом теле. Тепловые эффекты при электронно-лучевой технологии. Распределение температуры в твердом теле при электронно-лучевой обработке. Физико-химические основы нетермических электронно-лучевых процессов.

Характеристики разрядов в газах и основные параметры неравновесной плазмы. Физико-химические основы ионного распыления. Понятие о коэффициенте распыления. Зависимость коэффициента распыления от различных факторов. Пространственное распределение потока распыленных частиц при распылении аморфных и монокристаллических материалов. Распыление многокомпонентных материалов. Модель распыления бинарной системы. Особенности конденсации распыленных частиц. Реактивное ионное распыление.

Тема 17: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ

Термодинамика химического осаждения пленок. Кинетика химического осаждения пленок. Связь физико-химических и технологических характеристик процесса осаждения. Процессы осаждения из газовой и жидкой фаз. Химическое осаждение из газовой фазы. Атомно-слоевое осаждение. Основные химические реагенты для осаждения пленок в микроэлектронике. Механизм роста химически осаждаемых пленок. Пленки Ленгмюра-Блоджетт. Электрохимические методы создания металлических и оксидных пленок. Термодинамика электрохимического осаждения металлов. Влияние физико-химических факторов и технологических параметров осаждения на структуру и свойства осаждаемых металлических пленок. Создание оксидных пленок методом электрохимического анодного окисления (анодирования). Анодирование вентильных металлов (Al, Ti, Zr, Hf, Ta и др.), формирование плотных, пористых и трубчатых анодных оксидов. Влияние различных факторов на структуру и свойства формируемых оксидных пленок. Формирование наноструктурированных материалов анодированием многослойных композиций металлов. Формирование пористого кремния.

Тема 18: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ С ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Термодинамика процессов, протекающих на поверхности раздела фаз. Физико-химические основы процессов очистки и отмывки пластин и подложек в жидкой и газовой фазах. Химические процессы в плазме и на поверхности. Физико-химические основы процессов химического и плазмохимического травления твердых тел. Кинетика процессов ионного травления.

**ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Технология изделий интегральной электроники: учебное пособие для студентов радиотехн. спец. вузов / Л. П. Ануфриев [и др.] ; под общей ред. А. П. Достанко и Л. И. Гурского. – Минск : Амалфея, 2010. – 536 с.
2. Барыбин, А. А. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 784 с.
3. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и наноэлектроники: монография / А. П. Достанко [и др.] ; под ред. акад. НАН Беларуси А. П. Достанко и д-ра техн. наук А. М. Русецкого. – Минск : Бестпринт, 2011. – 216 c.
4. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. –2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 448 c.

Дополнительная

1. Федотов, Я. А. Основы физики полупроводниковых приборов / Я. А. Федотов. – Москва : Сов. радио, 1970. – 592 с.
2. Медведев, С. А. Введение в технологию полупроводниковых материалов / С. А. Медведев. – Москва : Высшая школа, 1970. – 504 с.
3. Достанко, А. П. Технология интегральных схем : учебное пособие для радиотехн. спец. вузов / А. П. Достанко. – Минск : Высшая школа, 1982. – 206 с.
4. Морохов, И. Д. Физические явления в ультрадисперсных средах / И. Д. Морохов, Л. Д. Трусов, В. И. Лаповок. – Москва : Наука, 1984. – 472 с.
5. Горелик, С. С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков : учебник для вузов / С. С. Горелик, М. Я. Дашевский. – Москва : Металлургия, 1988. – 574 с.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / под ред. Л. Ченга и К. Плога. – пер. с англ. – под ред. Ж. И. Алферова, Ю. В. Шмарцева. – Москва : Мир, 1989. – 582 с.
7. Материаловедение микроэлектронной техники : учебное пособие для вузов / под ред. В. М. Андреева. – Москва : Радио и связь, 1989. – 349 с.
8. Гусев, А. И. Нанокристаллические материалы / А. И. Гусев, А. А. Ремпель. – Москва : Физматлит, 2000. – 224 с.
9. Воробьев, Л. Б. Оптические свойства наноструктур : учебное пособие / Л. Б. Воробьев [и др.] ; под ред. Е. Л. Ивченко и Л. Е. Воробьева. – Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 188 с.
10. Зайцев, Ю. В. Расчет физико-химических характеристик элементов проводников : методическое пособие / Ю. В. Зайцев, Т. К. Кузищина, Д. Е. Кустов. – Москва : МЭИ, 2001. – 211 с.
11. Андриевский, Р. А. Наноструктурные материалы / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – Москва : Академия, 2005. – 192 с.
12. Пул, Ч. П. мл. Нанотехнологии / Ч. П. Пул мл., Ф. Дж. Оуэнс. – Москва : Техносфера, 2006. – 336 с.
13. Шабанова, Н. А. Химия и технология нанодисперсных оксидов : учебное пособие / Н. А. Шабанова, В. В. Попов, П. Д. Саркисов. – Москва : Академкнига, 2006. – 309 с.
14. Позняк, А. А. Анодный оксид алюминия и композитные материалы на его основе : монография / А.А. Позняк. – Минск : БГУ, 2007. – 252 с.
15. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Москва : Физматлит, 2007. – 416 с.
16. Наноматериалы и нанотехнологии / В. М. Анищик [и др.]. – Минск : БГУ, 2008. – 375 с.
17. Рамбиди, Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин. – Москва : Физматлит, 2008. – 456 с.
18. Рыжонков, Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Левина, Э. Л. Дзидзигури. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 365 с.
19. Гаврилов, С. А. Электрохимические процессы в технологии микро- и наноэлектроники / С. А. Гаврилов, А. Н. Белов. – Москва : Высшее образование, 2009. – 257 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И

ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЩАЮЩИХСЯ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

самостоятельная работа в виде решения индивидуальных заданий, в том числе разноуровневых;

оформление отчетов по выполненным лабораторным работам;

изучение вынесенного на самостоятельную проработку теоретического материала.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовым учебным планом по специальности 1-39 02 02 Проектирование и производство программно-управляемых электронных средств в качестве формы промежуточной аттестации по учебной дисциплине «Физико-химические основы технологий производства электронных устройств» рекомендуется экзамен. Оценка учебных достижений студентов производится по десятибалльной шкале.

Для текущего контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов могут использоваться следующие формы:

устный опрос;

тестирование;

контрольные работы;

письменные отчеты по выполненным лабораторным работам с их устной или письменной защитой.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

объяснительно-иллюстративный метод;

физический эксперимент;

информационно-коммуникационные технологии.

Примерный перечень ТЕМ лабораторных ЗАНЯТИЙ

1. Изучение размерного эффекта в тонких металлических пленках.
2. Исследование выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
3. Исследование механизма и кинетики процесса термического окисления кремния.
4. Исследование механизма и кинетики процесса ионного распыления.
5. Исследование плазменного разряда в вакуумной камере.

Примерный перечень ТЕМ практических занятий

1. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых материалах.
2. Физические процессы, протекающие в контактах металл-металл, металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник.
3. Физико-химические основы поверхностных процессов.
4. Процессы диффузии примесей в твердом теле.
5. Процессы термического окисления кремния.
6. Процессы ионной имплантации.
7. Общие принципы процесса осаждения эпитаксиальных слоев.
8. Процессы травления поверхности твердого тела.

Примерный перечень компьютерных программ

(*необходимого оборудования, наглядных пособий и т. п.)*

1. Установки вакуумного напыления УРМ 279.017, ВУП-1.
2. Оптический микроскоп Micro-200.
3. Автомат сварки выводов ЭМ-4020Б.
4. Атомно-силовой микроскоп NT-206.
5. Измеритель удельного сопротивления ИУС-3.
6. Установка СВЧ-травления фоторезиста.
7. Стенд «Технологическая оснастка для термических процессов».
8. Стенд «Кварцевые реакторы».
9. Планшет «ИК-нагрев в технологии РЭА».
10. Планшет «Электронно-лучевое испарение».
11. Планшет «Кремниевые подложки».
12. Планшет «Кинетика роста тонких пленок».
13. Планшет «Полупроводниковые материалы».