

Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение по естественнонаучному образованию

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра
образования
Республики Беларусь

В.А. Богуш

20.06.2017

Регистрационный № ТД-6625/тип.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине
для специальности
1-31 04 03 Физическая электроника

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по естественнонаучному
образованию

А.Л. Толстик



СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего
образования Министерства образования
Республики Беларусь

С.А. Касперович

20.06.2017

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

И.В. Титович

15.06.2017

Эксперт-нормоконтролер

28.04.2017

Д.В. Сеген

Минск 2017

СОСТАВИТЕЛИ:

А.П. Бурмаков, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра **микро- и наноэлектроники** учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

В.Б.Михайлов, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета

(протокол № 9 от 23.05.2016 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 1 от 01.11.2016 г.);

Научно-методическим советом по физике учебно-методического объединения по естественному образованию (протокол № 3 от 10.10.2016 г.);

Ответственный за редакцию: А.П. Бурмаков

Ответственный за выпуск: А.П. Бурмаков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа «Взаимодействие частиц и излучений с веществом» разработана для студентов специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника», в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования и типового учебного плана по специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника».

Цель дисциплины - формирование у студентов систематизированных знаний и практических навыков в областях электроники, микро-, нанoeлектроники, посвященных результатам исследования и применения процессов взаимодействия потоков атомных частиц (электроны, ионы, атомы, молекулы) и плазмы с твердыми телами.

Задачи дисциплины:

- изучить основные физические процессы, происходящие при взаимодействии потоков атомных частиц с поверхностями твердых тел;
- ознакомить студентов с применениями процессов взаимодействия потоков атомных частиц с поверхностями твердых тел в технологиях изготовления приборов электроники и микроэлектроники, модификации свойств поверхностей, анализе материалов;
- ознакомить студентов с основными методами генерации потоков атомных частиц и плазмы.

Для изучения дисциплины «Взаимодействие частиц и излучений с веществом» необходимы знания по дисциплинам общей физики, и физики полупроводников и полупроводниковых приборов в объеме учебных программ названных дисциплин типового плана.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основы теоретических модельных представлений и результаты научных исследований физических явлений, происходящих при взаимодействии потоков атомных частиц с твердыми телами;
- особенности применения процессов взаимодействия потоков атомных частиц с твердыми телами в технологиях создания приборов электроники, микроэлектроники, для модификации свойств поверхностей, разработки новых материалов, в анализе материалов;

уметь:

- проводить экспериментальные исследования физических процессов, связанных с разработкой новых материалов и технологий создания приборов электроники, микроэлектроники, нанoeлектроники.

владеть:

- методиками формирования пленочных покрытий, травления и легирования поверхностей в технологиях изготовления приборов твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники.

Освоение типовой учебной программы по учебной дисциплине «Взаимодействие частиц и излучений с веществом» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

ПК-4. Проводить математическое моделирование физических процессов, приборов и устройств.

Объем дисциплины составляет 150 учебных часов, из них – 86 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций - 50 часов, лабораторных работ – 36 часов.

Рекомендуемые формы текущей аттестации – зачет, экзамен.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ пп	Наименование темы	Всего	Лекции (часы)	Лаборатор ные занятия (часы)
1.	Введение	2	2	
2.	Методы генерации электронных потоков	4	2	2
3.	Процессы при взаимодействии электронов с поверхностью твердых тел	8	8	-
4.	Электронно-лучевые технологии обработки и анализа материалов	10	4	6
5.	Источники потоков нейтральных частиц (атомов, молекул, радикалов)	4	2	2
6.	Процессы при взаимодействии нейтральных частиц с поверхностью твердых тел	8	6	2
7.	Применение процессов	8	4	4

	взаимодействия нейтральных частиц с поверхностью твердого тела			
8.	Источники ионных потоков	4	2	2
9.	Процессы при взаимодействии ионов с поверхностью твердых тел	10	8	2
10.	Ионно-лучевые технологии обработки и анализа материалов	8	4	4
11.	Плазма, основные характеристики и способы генерации	8	4	4
12.	Плазменные технологии модификации свойств поверхности твердых тел.	12	4	8
	Итого	86	50	36

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение.

Цель и задачи дисциплины. Типы и энергетические характеристики атомных частиц. Поверхность твердого тела, виды ее неидеальности. Области применения процессов взаимодействия атомных частиц с твердым телом.

2. Методы генерации электронных потоков.

Термоэлектронные, автоэлектронные, взрывные и плазменные эмиссионные источники электронных потоков. Формирование электронных пучков.

3. Процессы при взаимодействии электронов с поверхностью твердых тел.

Классификация процессов. Упругое рассеяние электронов. Возбуждение фононов. Неупругое рассеивание электронов: ионизация, возбуждение атомов и молекул, диссоциация. Торможение электрона в поле ядра. Радиационно-химические превращения в твердом теле. Пробег электронов в твердом теле. Распределение выделенной энергии по глубине. Нагрев твердого тела. Процессы эмиссии электронов: упруго и неупругоотраженные первичные электроны, вторичные электроны, оже-электроны. Суммарный спектр электронной эмиссии. Эмиссия электромагнитного излучения: тормозное, характеристическое рентгеновское, люминесцентное, рекомбинационное излучение.

4. *Электронно-лучевые технологии обработки и анализа материалов.*

Термическая обработка материалов: легирование, получение твердых растворов, отжиг и закалка поверхностей, поверхностное упрочнение, восстановление поверхностей, сварка, размерная обработка. Электронно-лучевое нанесение пленочных покрытий. Образование микроплазмы. Электронолитография, разложение металлоорганических соединений, стимуляция процессов травления и очистки поверхностей. Анализ поверхности и тонких пленок: электронная Оже – спектроскопия, растровая и просвечивающая микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ.

5. *Источники потоков нейтральных частиц (атомов, молекул, радикалов).*

Резистивные и электроннолучевые термические источники. Газодинамические, ионно-лучевые, ионно-плазменные источники нейтральных частиц.

6. *Процессы при взаимодействии нейтральных частиц с поверхностью твердых тел.*

Классификация процессов. Упругое отражение. Неупругое отражение с поверхностной ионизацией, возбуждением, рекомбинацией и тушением. Адсорбция нейтральных частиц, силы связи при адсорбции. Потенциальные кривые адсорбции. Физическая и химическая адсорбция. Десорбция и миграция адсорбированных частиц. Диффузия адсорбированных нейтральных частиц и растворение газов. Физическое распыление и химическое травление поверхности нейтральными частицами.

7. *Применение процессов взаимодействия нейтральных частиц с поверхностью твердых тел.*

Технологии нанесения пленочных покрытий, эпитаксия. Окисление, азотирование и карбидизация поверхности. Радикальное травление. Получение вакуума.

8. *Источники ионных потоков.*

Источники Кауфмана. Источники с холловским током. Дуговые источники. Полевые зондовые источники.

9. *Процессы при взаимодействии ионов с поверхностью твердых тел.*

Классификация процессов. Упругое и неупругое рассеяние ионов. Пробеги ионов. Каналирование ионов. Физическое распыление поверхности, распыление сплавов и химических соединений. Ион-электронная и ион-ионная эмиссия. Обратное отражение ионов. Адсорбция ионов. Образование радиационных дефектов. Аморфизация. Ионное перемешивание. Химическое

травление поверхности. Эмиссия электромагнитного излучения. Нагрев поверхности.

10. Ионно-лучевые технологии обработки и анализа материалов.

Ионная имплантация. Ионно-лучевое нанесение пленочных покрытий. Получение силицидов. Очистка и травление поверхностей. Анализ поверхности и тонких пленок: вторичная ионная масс-спектрометрия, спектроскопия обратного рассеяния, оже-спектроскопия с ионным возбуждением.

11. Плазма, основные характеристики и способы генерации.

Плазменное состояние вещества. Элементарные процессы в низкотемпературной плазме. Модели состояния плазмы. Методы получения плазмы. Разряды в газах: тлеющий, высокочастотный, дуговой. Лазерная плазма.

12. Плазменные технологии модификации свойств поверхности твердых тел.

Физические процессы при контакте плазмы с поверхностью. Ионно-плазменные, плазмохимические и лазерно-плазменные технологии нанесения покрытий. Плазмохимическое травление пленок и поверхностных слоев.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Броудай, И. Физические основы микротехнологии. / И. Броудай, Д. Мерей. М.: Мир, 1985. – 458 с.
2. Попов, В. Процессы и установки электронно-ионной технологии. / В.Ф. Попов, Ю.Н. Горин. М.: Высшая школа, 1988. – 195 с.
3. Пирс, К. Технология СБИС. В 2-х т. / Под ред. С.Зи. М.: Мир, 1986. - 832с.
4. Достанко, А.П. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. В 3-х т. Том 2 / Под ред. А.П. Достанко. Мн.: ФУАинформ, 2000. - 244 с.
5. Бурмаков, А.П. Физические основы технологии микроэлектроники. Учеб. пособие. / А.П. Бурмаков, П.И. Гайдук, Ф.Ф. Комаров, А.В. Леонтьев. Мн.: БГУ, 2002. – 195 с.
6. Комаров, Ф.Ф. Физические процессы при ионной имплантации в твердые тела. / Ф.Ф. Комаров, А.Ф. Комаров. Мн.: Технопринт, 2001. - 392 с.
7. Фельдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок. / Л. Фелдман, Д. Майер. М.: Мир, 1989. - 330 с.

Дополнительная литература

1. Свадковский, И.В. Ионно-плазменные методы формирования тонкопленочных покрытий. / И.В. Свадковский. Мн.: Бестпринт, 2002. – 214 с.
2. Данилин, Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. / Б.С. Данилин. М.: Энергоатомиздат, 1989. - 256с.
3. Берлин, Е.В. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. / Е.В. Берлин, Л.А. Сейдман. М.: Техносфера, 2010. - 528 с.
4. Толливер, Д. Плазменная технология в производстве СБИС. / Пер. с англ. под ред. Н. Айнспрука и Д. Брауна. М.: Мир, 1987. – 460 с.
5. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника. / Л.Н. Розанов. М.: Высшая школа, 1990. - 315 с.
6. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда. / Ю.П. Райзер. М. : Наука, 1987. – 592 с.

Примерный перечень лабораторных занятий

1. Основные элементы, структура и характеристики вакуумных установок, используемых в технологиях модификации свойств поверхностей.
2. Термические источники нейтральных частиц. Основные закономерности термовакuumного нанесения металлических пленок.
3. Физическое распыление поверхности ионным потоком. Ионные источники и их применение для очистки и травления поверхностей.
4. Ионно-плазменная (магнетронная) технология нанесения пленочных покрытий и ее применение в процессах нанесения пленок металлов.
5. Ионно-плазменная (магнетронная) технология нанесения пленочных покрытий сложного химического состава. Способы и устройства контроля и управления процессом.
6. Химическое травление поверхностей потоками активных частиц. Плазмохимическое травление фоторезиста и оксида кремния. Контроль процесса.
7. Определение химического состава материала поверхности методом эмиссионной оптической спектроскопии.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- работа с конспектом лекций, учебной и научной литературой, использование компьютерной техники и Интернета;
- подготовка к коллоквиумам и тестированию;
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ;
- подготовка к экзамену.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

Типовым учебным планом по специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника» в качестве формы текущей аттестации по учебной дисциплине «Взаимодействие частиц и излучений с веществом» предусмотрен зачет и экзамен.

Для промежуточного контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенции студентов могут использоваться следующие формы:

- проведение коллоквиумов;
- тестирование по темам и разделам дисциплины, в том числе с использованием компьютерных технологий;
- устный и письменный опросы по отдельным темам дисциплины;
- защита лабораторных работ.