

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

(подпись)

22.12.2017

(дата утверждения)

А.Л.Толстик
(И.О.Фамилия)

Регистрационный № УД- 47/2 /уч.

ЛАЗЕРНЫЕ И ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине по специальности высшего образования второй
ступени (магистратуры):**

1-31 80 08 Физическая электроника

2017 г.

Белорусский государственный университет**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

_____ А.Л.Толстик
(подпись) (И.О.Фамилия)

_____ (дата утверждения)

Регистрационный № УД-_____/уч.

ЛАЗЕРНЫЕ И ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине по специальности высшего образования второй
ступени (магистратуры):**

1-31 80 08 Физическая электроника

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 08-2012 г. и учебного плана УВО № G31-285/уч. от 26.05.17 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

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

О.Р.Людчик, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

М.М. Кугейко, заведующий кафедрой квантовой радиофизики и оптоэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

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

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета

(протокол № 4 от 22.11.2017 г.);

Учебно-методической комиссией факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета

(протокол № 4 от 19.12.2017 г).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Лазерные и ионно-плазменные технологии» разработана для студентов второй ступени высшего образования (магистратуры) специальности 1-31 80 08 «Физическая электроника».

Место. Дисциплина входит в цикл дисциплин специальной подготовки государственного компонента.

Взаимосвязь. Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания в объеме курса общей физики первой ступени высшего образования.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов магистратуры систематизированных знаний и практических навыков в области физической электроники, посвященной лазерным и ионно-плазменным технологиям обработки поверхностей, нанесения пленочных покрытий, травления поверхностей.

Задачи дисциплины:

- изучить основные физические процессы, происходящие при взаимодействии лазерного излучения и плазмы с поверхностями твердых тел;
- ознакомить с основными применениями этих процессов в технологиях лазерной обработки материалов, лазерного и ионно-плазменного, а также комбинированного лазерно-плазменного нанесения пленочных покрытий, в технологиях очистки и травления поверхностных слоев;
- ознакомить с основными методами и устройствами генерации потоков плазмы с помощью лазерного излучения и газовых разрядов.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

знать:

- теоретические основы физических явлений, происходящих при взаимодействии потоков атомных частиц и ионов с твердыми телами;
- основы взаимодействия лазерного излучения с веществом,
- особенности применения процессов взаимодействия в технологиях создания материалов, элементов и приборов электронной техники,

- устройство и принципы работы лазерных, ионно-плазменных, лазерно-плазменных систем, используемых в технологиях обработки материалов электроники.

уметь:

- на базе физического и инженерного подходов оценивать возможность использования современных лазерно-плазменных и ионно-плазменных технологических систем для создания новых материалов,

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

владеть:

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

Освоение программы по учебной дисциплине «Лазерные и ионно-плазменные технологии» должно обеспечить формирование следующих **компетенций**:

Академические:

- АК-1. Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности (анализ, сопоставление, систематизация, абстрагирование моделирование, проверка достоверности данных, применение решений), готовность генерировать и использовать новые идеи.

- АК-2. Методологические знания и исследовательские умения, обеспечивающие решение задач научно-исследовательской, научно-педагогической, организационно-управленческой и инновационной деятельности.

Социально-личностные:

- СЛК-1. Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности.

- СЛК-3. Формировать и аргументировать собственные суждения и профессиональную позицию.

- СЛК-4. Формировать и аргументировать собственные суждения и профессиональную позицию.

Профессиональные:

- ПК-7. Работать с научно-технической информацией с использованием современных информационных технологий.

- ПК-8. Разрабатывать и совершенствовать радиофизические методы исследований.

- ПК-3. Работать с научно-технической информацией с использованием современных информационных технологий.

- ПК-9. Осуществлять постановку и проведение теоретических и экспериментальных исследований.

- ПК-12. Обосновывать достоверность полученных научных результатов.

- ПК-13. Формулировать выводы и рекомендации по применению результатов научно-исследовательской работы.

- ПК-14. Оформлять научные статьи и доклады.

- ПК-19. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития физики и техники, инновационным технологиям.

Объем дисциплины составляет 206 учебных часов, из них – 54 аудиторных. Распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций - 18 часов, лабораторных работ – 36 часов. Зачетных единиц – 6,0.

Дисциплина «Лазерные и ионно-плазменные технологии» изучается студентами дневной формы получения высшего образования **второй ступени (магистратуры)** во 2-ом семестре.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена по лекционному курсу и лабораторному практикуму.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. **Введение.** Цель и задачи дисциплины. Роль лазерных и ионно-плазменных технологии в изготовлении приборов микро- и наноэлектроники.

2. **Источники генерации мощных световых потоков.** Типы и основные характеристики лазеров, применяемых в обработке материалов электронной техники. Формирование лазерных пучков необходимых параметров.

3. **Физические процессы при взаимодействии лазерного излучения с материалами.** Нагрев, плавление, испарение, эрозия поверхностных слоев твердых тел и пленок, формирование мелкодисперсной жидкокапельной фазы, образование микроплазмы.

4. **Эрозионная лазерная плазма.** Характеристики эрозионной лазерной плазмы. Оптическая спектроскопия в изучении лазерной плазмы. Получение наночастиц в воздушной среде, жидкости и вакууме. Лазерная технология формирования наноструктурированных покрытий.

5. **Плазма тлеющих газовых разрядов.** Разряды на постоянном токе и токах высокой частоты. Свойства газоразрядной плазмы. Ионно-плазменные источники и технологии нанесения пленочных покрытий и травления поверхностных слоев. Импульсное ионно-плазменное распыление. Ионно-лучевое нанесение пленочных покрытий.

6. **Контроль и управление ионно-плазменными процессами.** Способы и системы контроля и управления плазмохимическим травлением и магнетронным распылением. Стабилизация параметров процесса реактивного распыления.

7. **Комбинированная технология магнетронно-лазерного осаждения покрытий.** Свойства комбинированного плазменного потока. Формирование наноструктурированных пленочных покрытий. Управление процессом комбинированного осаждения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер темы, занятия	Название темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов							Литература	Формы контроля	знаний
		Лекции	практические занятия	лабораторные	Семинарские	Материальное обеспечение занятия (методические пособия и др.)	7	8			
1	2	3	4	5	6		7	8		9	
1.	Введение (2 ч)	2									
1.1.	1. Цель и задачи дисциплины. Роль лазерных и ионно-плазменных технологии в изготовлении приборов микро- и нанoeлектроники.	2					Электронный конспект лекций				
2.	Источники генерации мощных световых потоков (6ч)	2		4			Электронный конспект лекций				
2.1.	1. Типы и основные характеристики лазеров, применяемых в обработке материалов электронной техники. 2. Формирование лазерных пучков необходимых параметров.	2		4			Установка УРМ. Импульсный лазер. Метод. указания к лаб. работам.		Устный опрос. Отчет по лабораторной работе.		
3.	Физические процессы при взаимодействии лазерного излучения с материалами (10 ч)	4		6			Электронный конспект лекций	[1] [3] [12]			

3.1.	1. Нагрев, плавление, испарение, эрозия поверхностных слоев твердых тел и пленок.	2	2	Система лазерной обработки на основе импульсного лазера.	Устный опрос. Отчет по лабораторной работе.
3.2.	1. Формирование мелкодисперсной жидкокапельной фазы, образование микроплазмы.	2	4	Установка УРМ. Импульсный лазер. Метод. указания к лаб. работам.	Отчет по лабораторной работе.
4.	Эрозионная лазерная плазма (10 ч)	2	8	Электронный конспект лекций	[2] [4] [8]
4.1.	1. Характеристики эрозионной лазерной плазмы. 2. Оптическая спектроскопия в изучении лазерной плазмы.	2	4	Установка УРМ. Импульсный лазер. Оптическое оборудование. Метод. указания к лаб. работам.	Отчет по лабораторной работе
4.2.	1. Получение наночастиц в воздушной среде, жидкости и вакууме. 2. Лазерная технология формирования наноструктурированных покрытий.		4	Установка УРМ. Импульсный лазер.	
5.	Плазма тлеющих газовых разрядов (10 ч)	4	6	Электронный конспект лекций	[6] [7]

5.1.	1. Разряды на постоянном токе и токах высокой частоты. Свойства газоразрядной плазмы. 2. Ионно-плазменные источники и технологии нанесения пленочных покрытий и травления поверхностных слоев.	2	6	Установка ПЛАЗМА-600, ИНВАК. Метод. указания к лаб. работам.	[9] [11] Отчет по лабораторной работе.
5.2.	1. Импульсное ионно-плазменное распыление. 2. Ионно-лучевое нанесение пленочных покрытий.	2			Тестирование по разделам 1 – 5.
6.	Контроль и управление ионно-плазменными процессами (8 ч)	2	6	Электронный конспект лекций	[5] [10]
6.1.	1. Способы и системы контроля и управления плазмохимическим травлением и магнетронным распылением.	2	4	Установка ИНВАК, ПЛАЗМА-600. Метод. указ. к лаб. работам.	Отчет по лабораторной работе
6.2.	1. Стабилизация параметров процесса реактивного распыления.		2	Установка ИНВАК. Метод. указ. к лаб. работам.	
7.	Комбинированная технология магнетронно-лазерного осаждения покрытий (8 ч)	2	6	Электронный конспект лекций	
7.1.	1. Свойства комбинированного плазменного потока.	2	4	Установка УРМ. Импульсный лазер. Метод. указ. к лаб.	Отчет по лабораторной работе

7.2.	1. Формирование наноструктурированных пленочных покрытий. Управление процессом комбинированного осаждения.	2	работам. Установка УРМ. Импульсный лазер. Метод. указ. к лаб. работам.	Отчет по лабораторной работе. Тестирование по разделам 6 и 7.
------	--	---	--	---

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Делоне, Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом / Н.Б. Делоне. М.: Наука, 1989.
2. Прохоров, А.М. Взаимодействие лазерного излучения с металлами / А.М. Прохоров, В.И. Конов, И.Н. Михейлеску. М.: Наука, 1988.
3. Менушенков, А.П. Физические основы лазерной технологии / А.П. Менушенков. М.: Наука, 2010. 212 с.
4. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов / У.Дьюли . М.: Мир, 1986.
5. Берлин, Е. В. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии / Е. В. Берлин, Л. А. Сейдман. М.: Техносфера, 2010. 528 с.
6. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер. М.: Наука, 1987. 592 с.
7. 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.

Дополнительная литература

8. Воробьев В.С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями / Успехи физических наук. Т.163, №12, 1993.
9. Сवादковский, И. В. Ионно-плазменные методы формирования тонкопленочных покрытий / И. В. Сवादковский. Мн.: Бестпринт, 2002. 214 с.
10. Толливер, Д. Плазменная технология в производстве СБИС / Пер. с англ. под ред. Н. Айнспрука и Д. Брауна. М.: Мир, 1987. 460 с.
11. Ивановский, Г.Ф. Ионно-плазменная обработка материалов / Г.Ф. Ивановский, В.И.Петров. М.:Радио и связь, 1986. 323 с.
12. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки. / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И.Мисюров. М. : издательство МГТУ, 2006. 664 с.

Перечень лабораторных занятий

1. Определение основных характеристик лазерного излучения и плотности мощности светового потока на мишени импульсного неодимового лазера.
2. Определение пороговых значений энергии накачки неодимового лазера для процесса испарения и лазерной эрозии металлической пленки на поверхности диэлектрика.
3. Определение пороговых значений энергии накачки неодимового лазера для процесса образования микроплазмы металлической поверхности.
4. Регистрация и анализ эмиссионного оптического спектра лазерной плазмы металлов.
5. Изучение методики формирования и характеристик наноструктурированных пленок, полученных лазерно-плазменной эрозией титана.

6. Ионно-плазменный источник и его применение в технологии нанесения пленочных покрытий
7. Оптическая система управления процессом реактивного ионно-плазменного нанесения пленок оксидов.
8. Изучение методики комбинированного магнетронно-лазерного осаждения покрытий, свойств комбинированного потока и особенностей характеристик покрытий.

Выполнение лабораторных работ

В лабораторном практикуме по дисциплине «Лазерные и ионно-плазменные технологии» запланировано проведение натуральных экспериментов на лабораторных установках при формировании лазерных и плазменных потоков, по изучению физических процессов взаимодействия лазерного излучения и плазмы с поверхностями твердых тел, проведению процессов лазерного и ионно-плазменного нанесения пленочных покрытий.

Задание по лабораторным работам для студентов заключается в подготовке отчета в письменном виде по выполненной работе. Контроль выполнения лабораторных работ будет осуществляться путем рассмотрения отчета по каждой выполненной лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, имя, отчество студента.
2. Название работы.
3. Цель исследования.
4. Исходные данные и методику проведения лабораторной работы.
5. Обсуждение полученных результатов, оценки величин и зависимостей, выводы по работе.

Защита отчетов по лабораторной работе студентам будет проводиться в форме индивидуального собеседования.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации (Постановление № 53 от 29.05.2012 г.)
2. Положение о рейтинговой системе БГУ (ред. 2015 г.).
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

Тестовые задания

1. Какие типы лазерных источников применяются для обработки материалов электронной техники.
2. Основные требования к характеристикам лазерного излучения при проведении процессов лазерной размерной обработки поверхностей.
3. Какие характеристики твердых тел влияют на пороговую величину плотности мощности лазерного излучения процесса испарения поверхности.

4. Какие характеристики твердых тел влияют на пороговую величину плотности мощности лазерного излучения процесса плазмообразования материала поверхности.
5. Механизмы образования жидкокапельной фазы в эрозионном плазменном потоке.
6. Методы сепарации эрозионного плазменного потока.
7. Характерные размеры металлических частиц в эрозионном плазменном потоке.
8. Отличительные особенности лазерно-плазменного метода осаждения пленочных покрытий.
9. Сравнительные свойства покрытий, осажденных с помощью лазерной эрозии материалов.
10. Сравнительные свойства плазмы тлеющих разрядов и лазерной плазмы.
11. Физические процессы при ионно-плазменном распылении поверхностей.
12. Технологические возможности ионно-плазменного осаждения покрытий.
13. Принцип методики плазмохимического осаждения покрытий.
14. Принцип методики плазмохимического травления покрытий.
15. Сущность оптических методов контроля и управления ионно-плазменными процессами.
16. Структура систем оптического управления расходом газов процессом реактивного ионно-плазменного осаждения.
17. Принцип реализации процесса комбинированного магнетронно-лазерного осаждения.
18. Отличительные особенности характеристик пленочных покрытий, полученных комбинированным осаждением.

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 тестированию;
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ;
- подготовка к экзамену.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

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

- тестирование по разделам дисциплины;
- устный и письменный опросы по отдельным темам дисциплины;
- защита лабораторных работ.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
физической электроники и нанотехнологий
(протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)