

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический факультет  
Кафедра оптоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования, первый  
проректор  
М. А. Барышев  
«20» апреля 2018 г.



Рабочая учебная программа по дисциплине

**Б1.В.ОД.5 ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР**

Для направления 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров  
высшей квалификации)

Профиль: Оптика

Квалификация (степень) выпускника – высшая квалификация  
Форма обучения очная

г. Краснодар


2018

**Рабочая программа дисциплины** составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, утвержденным приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 № 867 по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

**Программу составил(а):**

к.тех.н., профессор кафедры оптоэлектроники Никитин В.А. 

Заведующий кафедрой (разработчик) оптоэлектроники


д.т.н., профессор Яковенко Н.А. 

«12» апреля 2018г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры оптоэлектроники

«12» апреля 2018г. протокол № 9

Председатель учебно-методической комиссии факультета

д.ф.-м.н., профессор Богатов Н.М. 

«12» апреля 2018г.

Зав. отделом аспирантуры и докторантуры

Строганова Е.В. 

«20» апреля 2018г.

## **1 Цели и задачи изучения дисциплины**

**1.1 Цель дисциплины:** «Физические технологии создания оптических материалов и структур» состоит в обеспечении подготовки аспирантов к научно-исследовательской деятельности в области технологии создания оптических материалов и структур.

**1.2 Задачи дисциплины:** основной задачей дисциплины является изучение физических и технологических основ, устройства, принципов действия, характеристик и параметров важнейших технологических операций и методов, используемых для создания оптических материалов и структур.

В результате изучения настоящей дисциплины аспиранты получают знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и являющиеся фундаментом для изучения ряда последующих специальных дисциплин и практической научно-исследовательской работы аспирантов по профилю Оптика.

### **1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физические технологии создания оптических материалов и структур» для аспирантов по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) относится к обязательным дисциплинам вариативной части блока Б1.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных в процессе изучения дисциплин: «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом».

### **1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате изучения дисциплины у аспиранта должны сформироваться следующие компетенции, в соответствии с паспортом, отраженным в ООП (п.3):

ОПК-1: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: способность использовать теорию, концепцию и принципы в предметной области исследования природы света и его распространения и взаимодействия с веществом, а также основы технологий передачи информации и энергии, диагностики объектов различной природы.

ПК-2: способность к самостоятельному проведению научно-исследовательских работ и получению научных результатов, удовлетворяющих

установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности «Оптика».

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности <b>(Шифр: 3 (ОПК-1) – 1).</b>	выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования <b>(Шифр: У (ОПК-1) -1);</b>	навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований <b>(Шифр: В (ОПК-1) – 1);</b>
2.	ПК-1	способность использовать теорию, концепцию и принципы в предметной области исследования природы света и его распространения и взаимодействия с веществом, а также основы технологий передачи информации и энергии, диагностики объектов различной природы.	основы технологий передачи и обработки информации и энергии <b>(Шифр: 3 (ПК-1) – 2).</b>	применять принципы и методы исследования взаимодействия света с веществом <b>(Шифр: У (ПК-1) -1);</b> применять принципы и методы диагностики различных оптических систем <b>(Шифр: У (ПК-1) -2).</b>	методами диагностики, исследования и конструирования различных оптических систем <b>(Шифр: В (ПК-1) – 1).</b>
3.	ПК-2	способность к самостоятельному проведению научно-исследовательских работ и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности «Оптика».	знать основные установленные требования к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности «Оптика».	уметь самостоятельно проводить научные исследования свойств оптических материалов и устройств.	владеть основными методами получения и исследования оптических материалов и устройств.

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач. ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице 1.

Таблица 1

Вид работы	Трудоёмкость, часов	
	2 семестр	Всего
<b>Общая трудоёмкость</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<i>Лекции (Л)</i>	8	8
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	10	10
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	12	12
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>78</b>	<b>78</b>
Самостоятельное изучение разделов	51	51
Контролируемая самостоятельная работа	27	27
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>экзамен</b>	<b>экзамен</b>

### 2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоёмкости по разделам дисциплины во втором семестре представлено в таблице 2.

Таблица 2

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1.	<i>Физические технологии нанесения тонких металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок.</i>	21	2	2	3	14
2.	<i>Физико-технологические основы фотолитографии.</i>	18	2	2		14
3.	<i>Физические основы технологии создания интегрально-оптических волноводов в стеклах.</i>	22	2	4	5	11
4.	<i>Физические технологии создания микролинз методом электростимулированной миграции ионов.</i>	20	2	2	4	12
	Подготовка и сдача экзамена	27				27
	<i>Итого:</i>	<b>108</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>78</b>

## 2.3 Содержание разделов дисциплины:

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Физические технологии нанесения тонких металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок.	Термическое вакуумное нанесение плёнок. Физические основы термического нанесения. Испарение металлов и распространение паров испаряемого вещества в процессе термического нанесения пленок. Конденсация паров на подложке и образование пленочной структуры. Факторы, влияющие на качество осаждаемых пленок.	Анкетирование, опрос, защита лабораторных работ.
2.	Физико-технологические основы фотолитографии.	Фотолитография. Последовательность операций в процессе фотолитографии. Виды фоторезистов и способы их нанесения. Основные параметры фоторезистов.	Анкетирование, опрос, защита лабораторных работ.
3.	Физические основы технологии создания интегрально-оптических волноводов в стеклах.	Методы изготовления планарных интегрально-оптических волноводов в подложках. Физические основы изготовления оптических волноводов методом твердотельной диффузии и ионного обмена.	Анкетирование, опрос, защита лабораторных работ.
4.	Физические технологии создания микролинз методом электростимулированной миграции ионов.	Физические основы электростимулированной миграции ионов в стеклах. Интегральные микролинзы и матрицы микролинз, их свойства, методы изготовления и применение.	Анкетирование, опрос, защита лабораторных работ.

### 2.3.2 Занятия семинарского типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Физические технологии нанесения тонких металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок.	Ионно-плазменное напыление тонких плёнок. Магнетронное распыление плёнок. Высокочастотное и реактивное распыление плёнок. Эпитаксия как основной метод получения монокристаллических полупроводниковых пленок. Виды эпитаксии и способы проведения эпитаксии.	Доклады.
2.	Физико-технологические основы фотолитографии.	Электронолитография и рентгенолитография, их возможности и технология	Доклады

		проведения.	
3.	Физические основы технологии создания интегрально-оптических волноводов в стеклах.	Получение интегрально-оптических волноводов имплантацией ионов и их свойства. Получение интегрально-оптических волноводов с помощью уменьшения концентрации носителей и электрооптического эффекта.	Доклады
4.	Физические технологии создания микролинз методом электростимулированной миграции ионов.	Физические основы проведения электростимулированной миграции ионов из ограниченного источника (твердотельной фазы) и из неограниченного источника (расплава солей).	Доклады

### 2.3.3 Лабораторные занятия

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Физические технологии нанесения тонких металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок.	Термическое вакуумное нанесение металлических пленок. Нанесение пленок алюминия на стеклянные подложки.	Отчет лабораторной работы
2.	Физико-технологические основы фотолитографии.	Изучение основ фотолитографии	Отчет лабораторной работы
3.	Физические основы технологии создания интегрально-оптических волноводов в стеклах.	Изготовление планарных градиентных волноводов в стеклах методом ионного обмена из расплава соли.	Отчет лабораторной работы
4.	Физические технологии создания микролинз методом электростимулированной миграции ионов.	Изготовление и исследование матриц микролинз.	Отчет лабораторной работы

## 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Наименование раздела	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1.	Физические технологии нанесения тонких металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок.	Никитин В. А. Электростимулированная миграция ионов в интегральной оптике / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко. 3-е изд. доп. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2013. 245 с. Физические технологии интегральной оптики: лабораторный практикум / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко, А. С. Левченко Краснодар, 2013. – 134 с.
2.	Физико-технологические основы фотолитографии.	Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2008. – 400 с. Немилов, С.В. Оптическое материаловедение: оптические стекла [Электронный ресурс] - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2011. - 175 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/40816">https://e.lanbook.com/book/40816</a> .
3.	Физические основы технологии создания интегрально-оптических волноводов в стеклах.	Сидоров А.И. Материалы и технологии интегральной оптики. Учебное пособие, курс лекций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2009.- 107 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/43788">https://e.lanbook.com/book/43788</a> .
4.	Физические технологии создания микролинз методом электростимулированной миграции ионов.	

На самостоятельную работу аспирантов по курсу «Физические технологии создания оптических материалов и структур» отводится 72% времени от общей трудоемкости курса. Сопровождение самостоятельной работы аспирантов может быть организовано в следующих формах:

- составление индивидуальных планов самостоятельной работы аспиранта с указанием темы и видов заданий, форм и сроков представления результатов, критерием оценки самостоятельной работы;

- консультации (индивидуальные и групповые), в том числе с применением дистанционных форм обучения;

- промежуточный контроль хода выполнения заданий строится на основе различных способов взаимодействия в открытой информационной среде и отражается в процессе формирования электронного портфеля аспиранта в виде подготовленных и защищенных исследовательских заданий.



### **3. Образовательные технологии**

1. Описания лабораторных работ.
2. Разбор выполнения семинарских и лабораторных работ
3. Лабораторное оборудование по изучению технологических процессов создания оптических материалов и структур.

### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

#### **Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации**

1. Что такое конденсация вещества?
2. Как связаны между собой длина пробега частиц и величина вакуума?
3. Какие материалы наносят термическим вакуумным напылением?
4. Из каких материалов изготавливают испарители для термического напыления?
5. Сформулируйте законы Ламберта-Кнудсена.
6. Каким способом получают однородные по толщине пленки в процессе напыления из точечного источника?
7. В чем заключается сущность ионно-плазменного напыления?
8. Объясните принцип действия магнетрона.
9. В чем заключается сущность высокочастотного и реактивного распыления?
10. Каковы преимущества и недостатки метода ионно-плазменного распыления?
11. Какие типы эпитаксии существуют?
12. Что такое гетероэпитаксия?
13. Какие пленки получают с помощью эпитаксии?
14. Каким образом осуществляется газофазная эпитаксия?
15. Каким образом проводится эпитаксия из жидкой фазы?
16. Какие типы реакторов используются для проведения жидкофазной эпитаксии?
17. Что такое фотолитография и для чего она применяется?
18. Какие виды литографии существуют?
19. Что такое фоторезист?
20. Какие типы фоторезистов используются в процессе фотолитографии?
21. Назовите последовательность операций в процессе фотолитографии.
22. Какими способами наносятся фоторезисты на подложки?
23. Назовите основные свойства фоторезистов.
24. Какие существуют типы фотошаблонов?
25. В каких растворах проводят проявление негативных и позитивных фоторезистов?
26. Какими преимуществами обладает электролитография?
27. Каковы разрешающие способности различных видов литографии?
28. Что такое планарный волновод?
29. Какими свойствами должны обладать подложки оптических интегральных схем?
30. Что общего и в чем отличие монолитных и гибридных оптических интегральных схем?
31. Какие подложки называются активными, а какие – пассивными?
32. Объясните структуру стекла с точки зрения его кристаллохимического строения.
33. Что такое стеклообразователи, и какие стеклообразователи Вы знаете?

34. Какие ионы используются в качестве модификаторов в стеклах?
35. Каковы свойства кварцевого стекла?
36. Что такое ближний и дальний порядок в веществе?
37. Перечислите методы изготовления интегрально-оптических волноводов на поверхности подложки.
38. Перечислите методы, с помощью которых можно сформировать интегрально-оптические волноводы в подложках?
39. В чем заключается сущность метода твердотельной диффузии?
40. Запишите уравнение диффузии и его решение для случая проведения диффузии из ограниченного источника.
41. Запишите уравнение диффузии и его решение для случая проведения диффузии из неограниченного источника.
42. Какие соли используются при получении волноводов в стеклах методом ионного обмена?
43. Какими профилями обладают волноводы полученные диффузионными методами?
44. В чем заключается преимущество волноводов, получаемых электрооптическим методом?
45. Какими свойствами обладает интегрально-оптический канальный волновод?
46. Какие типы канальных волноводов используются в интегральной оптике?
47. В чем заключается сущность метода электростимулированной миграции ионов?
48. Запишите уравнение диффузии и его решение для случая проведения диффузии ионов при воздействии электрического поля.
49. Какая форма распределения показателя преломления наблюдается у волноводов, полученных методом электростимулированной миграции ионов?
50. Какие элементы интегральной оптики изготавливаются методом электростимулированной миграции ионов?
51. В чем преимущества и недостатки метода электростимулированной миграции ионов?

### **Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации (экзамен)**

1. Кристаллохимическое описание строения стекол. Возможности использования стекол в качестве подложек оптических интегральных схем.
2. Кварцевое стекло, его свойства и возможности применения в интегральной оптике и оптоэлектронике.
3. Ниобат и танталат лития и их применение в интегральной оптике и оптоэлектронике.
4. Технология изготовления планарных интегрально-оптических волноводов на поверхности подложки.
5. Ионно-плазменное напыление тонких плёнок. Диодная и триодная схемы. Преимущества и недостатки использования этих схем.
6. Магнетронное распыление плёнок.
7. Высокочастотное и реактивное распыление плёнок.
8. Термическое вакуумное нанесение плёнок. Преимущества и недостатки метода.
9. Физические основы термического нанесения.
10. Испарение металлов и распространение паров испаряемого вещества в процессе термического нанесения пленок.
11. Конденсация паров на подложке и образование пленочной структуры. Факторы, влияющие на качество осаждаемых пленок.
12. Эпитаксия. Виды эпитаксии и способы проведения эпитаксии.
13. Методы изготовления планарных интегрально-оптических волноводов в подложках.

14. Физические основы изготовления оптических волноводов методом твердотельной диффузии.
15. Физические основы изготовления оптических волноводов методом ионного обмена.
16. Материалы, применяемые при изготовлении оптических волноводов методом твердотельной диффузии и ионного обмена. Свойства получаемых волноводов.
17. Получение интегрально-оптических волноводов имплантацией ионов и их свойства.
18. Получение интегрально-оптических волноводов с помощью уменьшения концентрации носителей и электрооптического эффекта.
19. Технология изготовления интегрально-оптических канальных волноводов.
20. Изготовление интегрально-оптических элементов методом электро-стимулированной миграции ионов.
21. Физические основы создания волноводов методом электростимулированной миграции ионов.

## **5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1 Основная литература:**

1. Никитин В. А. Электростимулированная миграция ионов в интегральной оптике / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко. 3-е изд. доп. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2013. 245 с.
2. Физические технологии интегральной оптики: лабораторный практикум / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко, А. С. Левченко Краснодар, 2013. – 134 с.
3. Немилев, С.В. Оптическое материаловедение: оптические стекла [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2011. — 175 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/40816>.
4. Никитин В. А. Материалы электронной техники: учеб. пособие / В. А. Никитин, Н. А. Яковенко. – Краснодар: Кубанский госуниверситет, 2015. 123 с.

### **5.2 Дополнительная литература:**

1. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2008. – 400 с.
2. Баканов Г. Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г. Ф. Баканов, С. С. Соколов, В. Ю. Суходольский ; под ред. И. Г. Мироненко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
3. Сидоров, А.И. Материалы и технологии интегральной оптики. Учебное пособие, курс лекций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2009. — 107 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/43788>.

## **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

[www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)

[Referats.allbest.ru](http://Referats.allbest.ru)

<http://www.kubsu.ru/University/library/resources/>

<http://www.rubricon.com/>  
<http://window.edu.ru/window>

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

№ темы	Тема или задание текущей работы	Кол-во часов	Форма представления результатов	Сроки выполнения (недели)
1.	Физические технологии нанесения тонких металлических, диэлектрических и полупроводниковых пленок.	21	Устный ответ, текстовый документ	3
2.	Физико-технологические основы фотолитографии.	18	Текстовый документ	3
3.	Физические основы технологии создания интегрально-оптических волноводов в стеклах.	22	Устный ответ, текстовый документ	4
4.	Физические технологии создания микролинз методом электростимулированной миграции ионов.	20	Текстовый файл.	3
	Подготовка и сдача экзамена.	27	экзамен	3
	<b>Итого</b>	<b>108</b>		<b>16</b>

## 8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- лекционные аудитории (оборудованные видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном);
- оборудование вакуумного напыления металлических пленок для проведения лабораторных работ по изучению свойств металлов (ВУП-5, АдьфаН-1, УВР-3М);
- оборудование для изучения процесса фотолитографии (установки нанесения фоторезиста SPIN-1200T, SPIN-1200D, установка совмещения и экспонирования 830-П, комплекс лазерной безмасковой литографии μPG101).

При использовании электронных изданий вуз должен обеспечить каждого обучающегося во время самостоятельной подготовки рабочим местом в компьютерном классе с выходом в Интернет в соответствии с объемом изучаемых дисциплин.

