

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА»  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ФНИЦ «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И ФОТОНИКА» РАН)

Принято на Ученом совете  
ИПЛИТ РАН – филиала  
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника»  
РАН  
Протокол № 4/2020 от 24 сентября 2020 г.

**УТВЕРЖДАЮ**



Директор

О. А. Алексеева

«24» сентября 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
учебной дисциплины

**«ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ФОТОНИКИ»**

направление подготовки **11.06.01** Электроника, радиотехника и системы связи  
направленность **05.27.03** Квантовая электроника

Квалификация  
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Шатура  
2020

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дисциплина «Функциональные материалы фотоники» ставит своей **целью** подготовку специалистов, способных решать профессиональные задачи в области квантовой электроники (фотоники), связанные с физическими явлениями, лежащими в основе создания и применения различных современных функциональных материалов, а также их практической реализации в технических устройствах.

### **Задачи дисциплины:**

- формирование представления об общих физических принципах и механизмах фазовых переходов в твердом теле;
- изучение физических основ синтеза функциональных материалов (термическое, магнетронное напыление, атомно-слоевое осаждение, лазерный синтез (ИЛО), молекулярно-пучковая эпитаксия, терморреакционное спекание);
- получение знаний об иерархии и динамике физико-химических процессов, инициируемых лазерным излучением в функциональных материалах;
- изучение пространственного распространения лазерного излучения (процессов релаксации и распределения энергии лазерного излучения) в оптически прозрачных функциональных материалах (тонких пленках, халькогенидных стеклах, оптической керамики);
- изучение методов диагностики структур на основе функциональных материалов (тонких пленок, элементов энергонезависимой памяти, нейроморфных твердотельных устройств, оптически нелинейных структур);
- ознакомление с практическими результатами по применению твердотельных функциональных материалов в различных отраслях науки и техники;
- формирование основных практических навыков применения исследовательского и лазерного оборудования в научных исследованиях;
- развитие у учащихся (аспирантов) навыков систематического подхода к решению физических задач фундаментального и прикладного характера.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ**

Дисциплина «Функциональные материалы фотоники» (индекс Б1.В.ДВ.2.6) относится к вариативной части программы подготовки аспирантов по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

Дисциплина после выбора должна быть освоена аспирантом обязательно (но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане).

## **3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.



#### 4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ (если есть)

Третий год, пятый-шестой семестр обучения по базовому учебному плану.

#### 5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ

Вариативная часть, в т. ч.:	4 зач. ед.
Лекции	16 часов
Семинары и практические занятия	16 часов
Лабораторные работы	нет часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	нет часов
Самостоятельные занятия	108 часов
Зачет	4 часа
<b>ВСЕГО</b>	<b>4 зач. ед., 144 часа</b>

#### 6. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Функциональные материалы фотоники» направлено на формирование следующих универсальных (УК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций аспиранта:

**УК-1** (способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях);

**ОПК-1** (владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности);

**ОПК-2** (владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий);

**ПК-1** (способность проводить научные исследования и технические разработки лазеров, систем и комплексов с использованием лазерного излучения, материалов, элементно-узловой базы, технологий и специального оборудования с целью развития лазерной техники и лазерных информационных и фотонных технологий и их применения в различных отраслях науки, технике, медицине).

#### 7. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Функциональные материалы фотоники» обучающийся должен:

##### 1. Знать:

- физические принципы и механизмы фазовых переходов в твердом теле, иметь основные представления о физических основах синтеза функциональных материалов;



- основы взаимодействия лазерного излучения с твердым телом, иметь представление об иерархии и динамике физико-химических процессов, инициируемых лазерным излучением в функциональных материалах;
- методики расчета и измерения процессов релаксации и распределения энергии лазерного излучения в различных функциональных материалах;
- современные методы контроля лазерно-инициируемых процессов в режиме реального времени;
- современные технологии, связанные с изменением фазового состояния твердотельных функциональных материалов и физико-химическими процессами сопровождающие их;
- основные результаты и тенденции развития фундаментальных исследований, прикладных разработок и применения твердотельных функциональных материалов в различных отраслях науки и техники.

## **2. Уметь:**

- осуществлять сбор, обработку и систематизацию научной информации по заданному направлению профессиональной деятельности;
- работать на современном научном оборудовании, в том числе и уникальном;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и экспериментальных результатов;
- использовать методики численного расчета и экспериментального исследования (измерения) процессов релаксации и распределения энергии лазерного излучения в различных функциональных материалах;
- оценивать вклад различных физико-химических процессов, инициируемых лазерным излучением в зависимости от оптических и теплофизических свойств твердотельных функциональных материалов и параметров лазерного излучения;
- планировать и проводить физический эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты и оформлять их в виде результатов научной деятельности (научных статей, тезисов докладов научных конференций, патентов);
- критически анализировать накопленный опыт и совершенствовать свои подходы к изучению строения вещества и его свойств;
- формулировать актуальность, цели и научную новизну исследовательской работы, проводимой в рамках диссертационного исследования.

## **3. Владеть:**

- практикой исследования динамики фазовых переходов в твердотельных функциональных материалах и численного моделирования их свойств;
- методами неразрушающей диагностики динамики фазового состояния твердотельных функциональных материалов;
- навыками планирования и проведения физических экспериментов по контролю в режиме реального времени взаимодействия лазерного излучения с твердым телом.



## 8. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1	<p>31 (УК-1) <b>Знать</b> методы критического анализа и оценки современных достижений в выбранной области квантовой электроники, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У1 (УК-1) <b>Уметь</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>В1 (УК-1) <b>Владеть</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>
ОПК-1	<p>31 (ОПК-1) <b>Знать</b> методики анализа современных проблем, способы и методы решения теоретических и экспериментальных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У1 (ОПК-1) <b>Уметь</b> обоснованно выбирать и применять расчетно-теоретические методы для разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>У2 (ОПК-1) <b>Уметь</b> обоснованно выбирать и применять экспериментальные методы исследования для решения научных задач в выбранной области квантовой электроники.</p> <p>В1 (ОПК-1) <b>Владеть</b> современными методами теоретических и экспериментальных исследований для решения задач в выбранной области профессиональной деятельности.</p>
ОПК-2	<p>31 (ОПК-2) <b>Знать</b> современные информационные технологии, программные продукты и ресурсы сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-2) <b>Уметь</b> использовать профессионально-профилированные знания в области современных информационных технологий, программных продуктов и ресурсов сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>В1 (ОПК-2) <b>Владеть</b> навыками поиска (в том числе с использованием новейших информационных систем и баз данных) и критического анализа научной и технологической информации по тематике проводимых исследований.</p> <p>В2 (ОПК-2) <b>Владеть</b> навыками использования знаний в</p>

	области современных информационных технологий, программных продуктов и ресурсов сети Интернет для решения задач профессиональной деятельности.
<b>ПК-1</b>	<p>31 (ПК-1) <b>Знать</b> современное состояние науки в области квантовой электроники, тенденции развития фундаментальных исследований и прикладных разработок лазеров и лазерных информационных и фотонных технологий, цели и задачи научных исследований в выбранной области, базовые принципы и методы их организации.</p> <p>32 (ПК-1) <b>Знать</b> физические и конструктивные особенности лазеров разных типов, современные материалы, компоненты, лазерное диагностическое и технологическое оборудование, технологические процессы производства.</p> <p>У1 (ПК-1) <b>Уметь</b> проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p> <p>В2 (ПК-1) <b>Владеть</b> навыками исследования, моделирования, проектирования, конструирования и практического применения материалов, компонентов, приборов, устройств, установок квантовой электроники различного функционального назначения, лазерного технологического и диагностического оборудования.</p>

## 9. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Структура дисциплины

Вид работы	Семестр			Всего
	5-6			
Общая трудоёмкость, акад. часов	<b>144</b>			<b>144</b>
Аудиторская работа:	<b>32</b>			<b>32</b>
Лекции, акад. часов	<b>16</b>			<b>16</b>
Практические занятия, акад. часов	<b>16</b>			<b>16</b>
Лабораторные работы, акад. часов	-			-
Самостоятельная работа, акад. часов	<b>108</b>			<b>108</b>
Индивидуальные занятия, акад. часов	-			-
Вид итогового контроля - ЗАЧЕТ	<b>4</b>			<b>4</b>



## 9.2. Разделы дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Аудиторская работа, трудоёмкость, (акад. часов)	Самостоятельная работа, трудоёмкость, (акад. часов)
1	Физика функциональных материалов фотоники. Современные методы получения функциональных материалов фотоники.	8	30
2	Лазерно-инициированные процессы в твердом теле. Методы диагностики фазовых переходов в режиме реального времени.	16	40
3	Функциональные материалы фотоники в науке и технике	8	20
	Итоговая аттестация (зачет)	4	18
	<b>Общая трудоёмкость дисциплины:</b>	<b>36</b>	<b>108</b>

## 9.3. Лекции и их трудоёмкость

№ лекции	№ раздела	Тематика	Трудоёмкость (акад. часов)
1	1	Введение в физику функциональных материалов фотоники. Классификация и примеры функциональных материалов и структур. Кристаллические и аморфные твердые тела. Керамические оптические материалы. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Колебания кристаллической решетки. Квантование колебаний. Тепловые свойства твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Классическая теория теплоемкости. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности. Электронные и оптические свойства твердых тел. Фазовые переходы в твердом теле.	2
2	1	Принципы получения функциональных тонкопленочных и керамических материалов. Вакуумные процессы в технологии микро- и нанoeлектроники. Требования к материалам, используемым в вакуумной технике.	2

		<p>Элементная база вакуумных систем. Методы получения тонкопленочных функциональных материалов. Термическое, магнетронное, электронно-лучевое и атомно-слоевое осаждение, импульсно-лазерное осаждение (ИЛО), молекулярно-пучковая эпитаксия. Высокотемпературная конденсация из газовой фазы. Жидкофазная конденсация. Основные технологические этапы получения халькогенидного стекла и оптической керамики. Компактирование и спекание функциональных керамических материалов. Структурирование функциональных материалов под действием давления, температуры и лазерного излучения.</p>	
3	2	<p>Контролируемая лазерная модификация функциональных материалов. Процессы поглощения, обмена и релаксации энергии лазерного излучения атомами, молекулами аморфных и кристаллических твердых сред. Лазерно-инициированные процессы в твердом теле. Стеклообразные и аморфные материалы. Термодинамика и кинетика процессов стеклования. Структура силикатных, боратных и фосфатных стекол. Условия модификации и морфология функциональных пленок. Взаимное влияние пленки и подложки. Экстремальные физические воздействия на функциональные материалы фотоники. Изменение электрофизических, оптических и структурных свойств функциональных материалов. Классификация дефектов кристаллической решетки и их влияние на физические свойства. Влияние кристаллической структуры и дефектов на характеристики функциональных материалов. Численное моделирование распределения световых и температурных полей в функциональных материалах фотоники. Визуализация процессов лазерно-инициированных процессов в режиме реального времени.</p>	4
4	2	<p>Особенности проведения экспериментов с функциональными материалами фотоники. Современные экспериментальные методы исследований. Просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Спектроскопия комбинационного рассеяния (Рамановская спектроскопия). Рентгеновские методы исследования материалов. Методы исследования электрофизических и оптических свойств функциональных материалов.</p>	4



		Бесконтактная диагностика лазерно-иницированных процессов фазовых переходов в твердом теле. Методы диагностики фазовых переходов в режиме реального времени (метод «накачка-зондирование»).	
5	3	Материалы для функциональной фотоники. Реверсивные и необратимые оптические среды (оптические пленки, фотохромные материалы, электрооптические кристаллы, халькогенидные стекла, композитные материалы) для энергонезависимых запоминающих устройств. Материалы для оптических запоминающих устройств: пленки из легкоплавких металлов (теллурида германия, теллурида германия с добавками сурьмы, серебра или селена, двуокиси теллура), халькогенидные стекла, магнитооптическая керамика.	2
6	3	Материалы для функциональных устройств электроники. Электрофизические свойства тонких пленок в структурах металл-диэлектрик-металл и металл-полупроводник: туннелирование, эмиссия электронов. Перенос носителей заряда в многодолинных полупроводниках (эффект Ганна). Аморфные сплавы редкоземельных и переходных металлов. Высокотемпературная сверхпроводимость в керамических средах. Перспективы развития функциональных материалов.	2
<b>Общая трудоемкость лекций:</b>			16

#### 9.4. Практические занятия

№ лекции	№ раздела	Тематика	Трудоёмкость (акад. часов)
1	1	Изучение методов осаждения функциональных материалов, схем функционирования газо-вакуумных систем технологических установок. Приобретение практических навыков синтеза тонкопленочных функциональных материалов методом импульсного лазерного осаждения.	4
2	2	Изучение схемы и режимов работы твердотельной лазерной нано(пико)-секундной системы и оборудования измерительно-диагностического стенда исследования лазерно-иницированных процессов фазовых переходов в тонкопленочных функциональных материалах.	4
3	2	Наладка измерительной схемы по методу «накачка-	4



		зондирование» и проведение методических измерений динамических свойств фазовых переходов в твердом теле.	
4	3	Изучение работы прототипов оптических запоминающих устройств на основе тонких пленок (теллурида германия, теллурида германия с добавками сурьмы, серебра или селена).	4
		<b>Общая трудоемкость практических занятий:</b>	<b>16</b>

### 9.5. Самостоятельные занятия

№ раз-дела	Вид самостоятельной работы	Трудоёмкость, (акад. часов)
1	Работа с лекционным материалом по разделу 1. Изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым аспирантом по итогам каждой лекции, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях.	<b>30</b>
2	Работа с лекционным материалом по разделу 2. Изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым аспирантом по итогам каждой лекции, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях.	<b>40</b>
3	Работа с лекционным материалом по разделу 3. Изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым аспирантом по итогам каждой лекции, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях.	<b>20</b>
	Подготовка к итоговой аттестации (зачету)	<b>18</b>
	<b>Общая трудоемкость дисциплины:</b>	<b>108</b>

Руководитель дисциплины оставляет за собой право уточнять тематику и форму проведения аудиторных занятий.

Основная часть работы аспиранта является самостоятельной и включает изучение рекомендованной руководителем дисциплины литературы, работу с источниками, написание текстов, составление и защиту презентаций, подготовку к итоговому собеседованию и т.п.

По согласованию с руководителем дисциплины возможно проведение индивидуальных консультаций и собеседования с руководителем дисциплины.

В случае отсутствия аудиторных занятий или невозможности их посещения руководитель дисциплины предлагает аспиранту соответствующую отработку с тем же объемом оценки проделанной работы.



## **10. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

### **10.1 Перечень и карта компетенций дисциплины «Функциональные материалы фотоники»**

Универсальные компетенции						Общепрофессиональные компетенции					Профессиональные компетенции	
УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	УК-6	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ОПК-4	ОПК-5	ПК-1	ПК-2
+						+	+				+	

Критерии оценивания компетенций приведены в основной образовательной программе высшего образования – программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (направленность 05.27.03 Квантовая электроника).

### **10.2 Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения**

#### **10.2.1 Тестовое задание для сдачи зачета:**

1. Классификация функциональных материалов фотоники
2. Актуальность разработки и исследования новых функциональных материалов фотоники.
3. Материалы для создания оптоэлектронных (фотонных) устройств в терагерцевой, инфракрасной (ИК), видимой и ультрафиолетовой (УФ) части спектра.
4. Теплофизические свойства твердых тел.
5. Электронные и оптические свойства твердых тел.
6. Фазовые переходы в твердом теле.
7. Современные керамические оптические (функциональные) материалы.
8. Методы получения функциональных материалов фотоники.
9. Особенности методов осаждения тонкопленочных функциональных материалов.
10. Особенности синтеза функциональных материалов методами эпитаксии.
11. Материалы и оборудование, используемое в вакуумной технике. Основные технические требования.
12. Основные технологические процессы получения халькогенидного стекла функциональных керамических материалов фотоники.

13. Процессы в функциональных материалах под действием давления, температуры и лазерного излучения.
14. Процессы поглощения, обмена и релаксации энергии лазерного излучения атомами, молекулами аморфных и кристаллических твердых сред.
15. Термодинамика и кинетика процессов стеклования халькогенидного стекла.
16. Экстремальные физические воздействия на функциональные материалы фотоники.
17. Изменение электрофизических, оптических и структурных свойств функциональных материалов при лазерном иницировании.
18. Влияние кристаллической структуры и дефектов на характеристики функциональных материалов.
19. Методы визуализации процессов лазерно-иницированных процессов в режиме реального времени.
20. Современные экспериментальные методы исследований функциональных материалов фотоники.
21. Спектроскопия комбинационного рассеяния (Рамановская спектроскопия).
22. Рентгеновские методы исследования материалов.
23. Методы диагностики фазовых переходов в режиме реального времени (метод «накачка-зондирование»).
24. Реверсивные и необратимые оптические среды функциональной фотоники.
25. Материалы для оптических запоминающих устройств.
26. Электрофизические свойства тонких пленок в структурах металл-диэлектрик-металл и металл-полупроводник.
27. Перенос носителей заряда в многодолинных полупроводниках (эффект Ганна).
28. Бесконтактная диагностика лазерно-иницированных процессов фазовых переходов в твердом теле.
29. Методы подготовки подложек при получении тонких пленок и структур.
30. Методы исследования электрофизических и оптических свойств функциональных материалов.
31. Квантоворазмерные эффекты в тонких пленках.
32. Основные нелинейные эффекты в твердом теле и их применения.
33. Пространственно-временная модуляция лазерного излучения.
34. Распределения световых и температурных полей в функциональных материалах фотоники.
35. Поглощение и рассеяние лазерного излучения в твердом теле.
36. Сканирующая электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия
37. Атомно-силовая микроскопия.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**



При чтении лекции используются: ноутбук, проектор, экран, маркерная доска. Для получения необходимой информации используются Web-ресурсы сети Интернет и локальная библиотека электронных материалов.

Для проведения практических занятий и получения экспериментальных данных используются:

- Установка для осаждения тонких пленок методом импульсного лазерного осаждения;

- Измеритель электрофизических (транспортных) характеристик пленок HMS-3000;

- Лазерные источники: импульсный твердотельный лазер излучающий на длинах волн  $\lambda=1064, 532, 255$  нм с изменяемой энергией и длительностью импульса;

- лазерные диоды с длинами волн от 1,2 до 1,5 мкм;

- спектрофотометр УФ и видимого диапазонов Cary 50;

- спектрометр HR4000;

- Измерительно-диагностический стенд исследования лазерно-инициированных процессов фазовых переходов в тонкопленочных материалах.

- Установка исследования и диагностики фазовых переходов в режиме реального времени (методом «накачка-зондирование»).

Установки рентгеноструктурного анализа, оптические, атомно-силовые и электронные микроскопы Центра коллективного пользования ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

## **12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. - М.: Физматгиз, 1963. – 702 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1970. – 855 с.
3. Звелто О. Принципы лазеров. – М.: Мир, 1990. – 558 с.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. – М.: Мир, 1984. Кн. 1. – 456 с. Кн. 2.- 456 с.
5. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – М.: Учебник, 1978. – 616 с.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга и К. Плога. – М.: Мир, 1989. – 584 с.
7. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. – М.: Физматлит, 2009. -664с.
8. Современные лазерно-информационные технологии. / Коллективная монография под ред. акад. В.Я. Панченко и проф. Ф.В. Лебедева. – М.: Интерконтакт Наука, 2015. – 959 с.

9. Alexander V. Kolobov, Junji Tominaga. Chalcogenides: Metastability and Phase Change Phenomena. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2012. – p. 287.
10. Chung H. Lam, Simone Raoux, Matthias Wuttig. Phase Change Materials: Science and Applications. – Springer US. – 2009. – p. 845.

#### **Дополнительная литература**

1. Alexander V. Kolobov. Photo-induced Metastability in Amorphous Semiconductors. – Wiley-VCH. – 2003. – p. 439.
2. Andrea Redaelli. Phase Change Memory: Device Physics, Reliability and Applications. – Springer International Publishing. – 2018. – p. 342.
3. Jean-Luc Adam. Chalcogenide glasses: Preparation, Properties and Applications – Woodhead Publishing. – 2014. – p. 714.
4. Erwin R. Meinders, Andrei V. Mijiritskii, Liesbeth van Pieterse, Matthias Wuttig. Optical data storage: Phase-Change Media and Recording. – Springer. – 2006. – p.180.

#### **Периодическая литература**

Журналы

Квантовая электроника

Российские нанотехнологии

Laser Physics

Laser Physics Letters

Physics Status Solidi: B

Applied Physics Letters

Applied Physics

Results in Physics

**Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т. д.**

<b>РИНЦ</b>	<a href="http://elibrary.ru/orgs.asp">http://elibrary.ru/orgs.asp</a>
<b>Web of Science</b>	<a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
<b>Scopus</b>	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>
<b>IOP</b> Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	<a href="http://www.iop.org/">http://www.iop.org/</a>
<b>AIP</b> материалы American Institute of Physics	<a href="http://www.aip.org/">http://www.aip.org/</a>
<b>CASC</b> материалы издательства EBSCO Publishing	<a href="http://www.ebsco.com/">http://www.ebsco.com/</a>
<b>APS</b> Журналы Американского физического общества	<a href="http://www.aps.org/">http://www.aps.org/</a>
<b>RSC</b>	<a href="http://pubs.rsc.org/">http://pubs.rsc.org/</a>



материалы Royal Society of Chemistry	
<b>Wiley</b> материалы базы данных Wiley Journal	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>

**13. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ** – русский, английский

Программу составил:  
к. ф.-м. н. М. А. Панков