

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

**«МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МОДИФИКАЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК»**

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 «Методы формирования и модификации тонких пленок» ставит своей **целью** подготовку специалистов, способных решать профессиональные задачи в области квантовой электроники, связанные с физическими явлениями, лежащими в основе создания и применения различных современных тонкопленочных функциональных материалов, а также их практической реализации в технических устройствах.

### Задачи дисциплины:

- формирование представления о тонких пленках. Применение тонких пленок в микро- и оптоэлектронике, наноэлектронике, полупроводниковой спинтронике. Двумерные, одномерные, нульмерные тонкопленочные объекты.
- Рассмотрение методов синтеза тонкопленочных функциональных материалов. Физические и химические методы синтеза. Виды термического, магнетронного, электронно-лучевого осаждения, метод импульсного лазерного осаждения, молекулярно-лучевая эпитаксия;
- изучение механизмов эпитаксиального роста тонких пленок (послойный рост Франка - ван дер Мерее, островковый рост Вольмера-Вебера, послойно-островковый рост Странского-Крастанова, рост при наличии ионов);
- изучение термических методов синтеза тонких пленок. Физические методы испарения: термическим нагревом, электронным лучом, дугой. Скорость испарения (Герц, Кнудсен, Ленгмюр). Твердофазная и жидкофазная эпитаксия;
- изучение химических методов осаждения. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений (MOCVD). Диоды и лазеры на нитриде галлия;
- изучение метода молекулярно-лучевой эпитаксии (ячейка Кнудсенаи молекулярно-лучевая эпитаксия, схемы, достижения, недостатки);
- изучение методов испарения магнетроном (постоянного тока, ВЧ и СВЧ);
- изучение современных технологий импульсного лазерного напыления для синтеза новых материалов и структур микро- и нанофотоники, электроники и элементной базы нейроморфных систем;
- ознакомление с методами отжига тонких пленок (термический отжиг, отжиг флеш-лампой, лазерный отжиг). Влияние длительности отжига на глубину проникновения.
- изучение физических процессов, происходящих при отжиге пленок. Причины и механизмы усадки (диффузия и встраивание в решетку, преодоление барьеров), влияние отжига на оптические и электрические свойства.
- изучение механизмов изменения магнитных свойств высокотемпературных ферромагнитных полупроводников в результате отжига;
- освоение навыков работы с диагностическим и лазерным оборудованием 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 «Методы формирования и модификации тонких пленок» (индекс Б1.В.ДВ.2.) 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

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

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

Освоение дисциплины «Методы формирования и модификации тонких пленок» 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 «Методы формирования и модификации тонких пленок» обучающийся должен:

### **1. Знать:**

- основные методы синтеза тонкопленочных функциональных материалов (физические методы синтеза: термическое, магнетронное, электронно-лучевое, дуговое осаждение, лазерный синтез (ИЛО), молекулярно-лучевая эпитаксия; химические методы осаждения: газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений);
- физические методы испарения: термическим нагревом, электронным лучом, дугой;
- методики расчета скорости испарения (формула Герца-Кнудсена);
- современные методы отжига: термический, флеш лампой, лазерный. Физические процессы при отжиге, усадка – причины и механизмы (диффузия и преодоление барьеров), влияние усадки на оптические и электрические свойства.
- механизмы изменения магнитных свойств высокотемпературных ферромагнитных полупроводников;
- современные технологии импульсного лазерного напыления для синтеза новых материалов и структур микро- и нанофотоники, электроники и элементной базы нейроморфных систем;
- основные результаты исследований тонкопленочных функциональных материалов.

### **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;
- планировать и проводить физический эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты и оформлять их в виде результатов научной деятельности (научных статей, тезисов докладов научных конференций, патентов);
- формулировать актуальность, цели и научную новизну исследовательской работы, проводимой в рамках диссертационного исследования.

### **3. Владеть:**

- методом импульсного лазерного осаждения тонких пленок различных материалов;
- методами неразрушающей диагностики тонких пленок материалов;
- знаниями физико- химических процессов, происходящих при напылении тонких пленок.

## 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>З1 (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>З1 (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>З1 (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	Тонкопленочные функциональные материалы в науке и технике	8	20
2	Физические основы синтеза тонкопленочных функциональных материалов. Современные методы синтеза тонких пленок.	20	40
3	Методы отжига тонкопленочных функциональных материалов.	4	30
	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	Тонкие пленки в науке и технике. Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок. Микроэлектроника, оптоэлектроника (светодиоды, фотодиоды, фототранзисторы, полупроводниковые лазеры на гетероструктурах и квантовых ямах). Оптоэлектроника на квантовых полупроводниковых гетероструктурах. Наноэлектроника. Двумерные, одномерные, нульмерные тонкопленочные объекты с характерным размером порядка 10нм. Тонкопленочные высокотемпературные ферромагнитные пленки (спинтроника).	2
2	1	Физические и химические методы синтеза. Послойный рост по механизму Франка - ван дер Мерее (Frank-vander Merve), Островковый рост по механизму Вольмера-Вебера (Vollmer-Weber), Послойно-островковый рост по механизму Странского-Крастанова (Stranski-Krastanov), рост при наличии ионов.	2
3	2	Термические методы получения тонкопленочных функциональных материалов. Физические методы испарения: термическим нагревом, электронным лучом, дугой. Скорость испарения (результаты Герца, Кнудсена,	2



		Ленгмюра) Химические методы осаждения. Высокотемпературная конденсация из газовой фазы. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений (metalorganic chemical vapour deposition, MOCVD)Диоды и лазеры на нитриде галлия.	
4	2	Ячейка Кнудсена и молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ - МВЕ). Схемы, достижения. Недостатки.	2
5	2	Метод испарения магнетроном. Метод испарения магнетроном постоянного тока, ВЧ и СВЧ магнетроном.	2
6	2	Современные технологии импульсного лазерного напыления для синтеза новых материалов и структур микро- и нано-фотоники и электроники и элементной базы нейроморфных систем.	2
7	2	Твердофазная и жидкофазная эпитаксия. Низкотемпературная молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ - МВЕ). Возможность формировать пленки с резким профилем легирования. Анизотропия скорости кристаллизации.	2
8	3	Методы отжига тонких пленок: термический, флеш лампой, лазерный. Физические процессы при отжиге, усадка – причины (встраивание в решетку) и механизмы (диффузия и преодоление барьеров), влияние на оптические и электрические свойства. Механизмы изменения магнитных свойств высокотемпературных ферромагнитных полупроводников.	2
<i>Общая трудоемкость лекций:</i>			16

#### 9.4. Практические занятия

№ лекции	№ раздела	Тематика	Трудоёмкость (акад. часов)
1	1	Изучение методов осаждения функциональных материалов. Приобретение практических навыков синтеза тонкопленочных функциональных материалов методом импульсного лазерного осаждения.	4
2	2	Изучение схем функционирования газо-вакуумных систем технологических установок.	4
3	2	Изучение диагностических приборов и проведение методических измерений по влиянию отжига на электрические и оптические свойства тонкопленочных	4

		функциональных материалов.	
4	3	Изучение работы прототипов запоминающих устройств на основе тонких пленок (мемристоров).	4
		<b>Общая трудоемкость практических занятий:</b>	16

### 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.	30
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.	40
3	Работа с лекционным материалом по разделу 3. Изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым аспирантом по итогам лекции, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях.	20
	Подготовка к итоговой аттестации (зачету)	18
	<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, необходимые для оценки результатов обучения

#### 10.2.1 Тестовое задание для сдачи зачета:

1. Актуальность разработки и исследования новых функциональных материалов.
2. Размерные ограничения выполнения закона Мура.
3. Размерные эффекты удельного сопротивления тонких пленок.
4. Квантово-размерные эффекты удельного сопротивления тонких пленок.
5. Процесс испарения. Скорость испарения жидких (Герц, Кнудсен) и твердых тел (Ленгмюр).
6. Методы получения тонких пленок.
7. Особенности методов осаждения тонкопленочных функциональных материалов.
8. Особенности синтеза функциональных материалов методами эпитаксии.
9. Методы получения функциональных материалов для нейроморфных устройств.
10. Мемристоры.
11. Вакуумные установки для получения тонких пленок. Технические требования для различных методов осаждения.
12. Механизмы влияния температуры подложки на рост пленки.
13. Процессы в функциональных материалах под действием температуры и лазерного излучения. Отжиг пленок.

14. Изменение электрофизических, оптических и структурных свойств функциональных материалов при отжиге.
15. Виды дефектов и их влияние на характеристики тонкопленочных функциональных материалов.

## **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: импульсные твердотельные лазеры  $\lambda=1064, 532, 265$  нм;
- Эксимерные лазеры;
- спектрофотометр УФ и видимого диапазонов Cary 50;
- спектрометр HR4000;
- оптический и атомно-силовой микроскоп;

Установки рентгеноструктурного анализа 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. Берг А., Дин П. Светодиоды. Мир, Москва, (1979) 677 с.
10. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники, Москва: Техносфера, 2007.-368с.
11. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. (СПб.: Наука, 2001).
12. Дубровский В.Г. Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 352.с.
13. Оура К., Лифшиц В. Г., Саранин А. А., Зотов А. В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. - Наука (2006), 490 с.
14. Технология тонких пленок. Справочник. Под редакцией Л.Майссела, Р. Глэнга, Москва «Советское радио» 1977, том 1, стр.37.
15. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. Пер. с англ.- М.: Мир, 1989.- 240 с.
16. Pulsed laser deposition of thin films: Applications-LED growth of functional materials / Ed. by R. Eason. USA, Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience, 2007, 682 p.

### Дополнительная литература

1. Солнечные преобразователи на основе гетеропереходов p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As-n- GaAs / Алферов Ж.И., Ахмедов В.М., Каган М.Б., Протасов И.И., Трофим В.Г. // ФТП, 4, 2378 (1970).
2. Фототранзистор на основе гетеропереходов в системе GaAs-AlAs / Алферов Ж.И., Ахмедов В.М., Корольков В.И., Никитин В.Г. // ФТП, 7, 1159 (1973).
3. Leonid N. Oveshnikov, Elena I. Nekhaeva, Alexey V. Kochura, Alexander B. Davydov, Mikhail A. Shakhov, Sergey F. Marenkin, Oleg A. Novodvorskii, Alexander P. Kuzmenko, Alexander L. Vasiliev, Boris A. Aronzon and Erkki Lahderanta High-temperature magnetism and microstructure of a semiconducting ferromagnetic (GaSb)<sub>1-x</sub>(MnSb)<sub>x</sub> alloy Beilstein J. Nanotechnol. 2018, 9, 2457–2465.
4. Л.С. Паршина, О.А. Новодворский, О.Д. Храмова, А.А. Лотин, М.Д. Хоменко, П.А. Щур Лазерный отжиг тонких пленок ИТО на гибких органических подложках, Физика и техника полупроводников, 2019, том 53, вып. 2 стр 169-173. DOI: 10.21883/ФТР.2019.02.47094.8899
5. А.И. Дмитриев, А.В. Кочура, А.П. Кузьменко, Л.С. Паршина, О.А. Новодворский, О.Д. Храмова, Е.П. Кочура, А.Л. Васильев, Е.И. Нехаева, Б.А. Аронзон, Влияние температур роста и постростового отжига на магнитные свойства наночастиц Mn<sub>1+x</sub>Sb, внедренных в тонкие пленки GaSb, Физика твердого тела, 2020, том 62, вып. 2, с. 204-208.

6. О.А. Новодворский, Л.С. Паршина, О.Д. Храмова, А.А. Яруков, Д.С. Гусев, Ф.Н. Путилин, Низкотемпературный лазерный синтез тонких электрохромных пленок WO<sub>3</sub>, Неорганические материалы, 2020, том 56, № 3, с. 1–6.
7. О. А. Новодворский, Л. С. Паршина, А. А. Лотин, В. А. Михалевский, О. Д. Храмова, Е. А. Черобыло, В. Я. Панченко / Мемристоры на основе диоксидов ванадия и титана, полученные методом импульсного лазерного осаждения / Поверхность: рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования, 2018, № 4, с. 31–37.
8. V.V. Rylkov, A.S. Bugaev, O.A. Novodvorskii, V.V. Tugushev, E.T.Kulatov, A.V. Zenkevich, A.S. Semisalova, S.N. Nikolaev, A.S. Vedeneev, A.V. Shorokhova, D.V. Aver'yanov, K.Yu. Chernoglazov, E.A. Gan'shina, A.B. Granovsky, Y. Wang, V.Ya. Panchenko, S. Zhou, High-temperature ferromagnetism of Si<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub> (x ≈ 0.52-0.55) alloys. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.383, PP. 39–43, 2015.
9. M. Esaulkov, P. Solyankin, A. Sidorov, L. Parshina, A. Makarevich, Q. Jin, Q. Luo, O. Novodvorsky, A. Kaul, E. Cherepetskaya, A. Shkurinov, V. Makarov, X. C. Zhang, Emission of Terahertz pulses from vanadium dioxide films undergoing metal-insulator phase transition, Optica, Vol. 2 № 9. PP. 790-796, 2015.
10. О.В. Коплак, А.А. Поляков, А.Б. Давыдов, Р.Б. Моргунов, А.Д. Таланцев, А.В. Кочура, И.В. Федорченко, О.А. Новодворский, Л.С. Паршина, О.Д. Храмова, А.В. Шорохова, Б.А. Аронзон, Взаимосвязь намагниченности и электрических свойств пленок сплавов GaSb-MnSb, ЖЭТФ, т. 147, № 6, сс.1170-1178, 2015.

### 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 Institute of Physics</b> 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>	<a href="http://www.aip.org/">http://www.aip.org/</a>

материалы American Institute of Physics	
<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> Материалы Royal Society of Chemistry	<a href="http://pubs.rsc.org/">http://pubs.rsc.org/</a>
<b>Wiley</b> материалы базы данных Wiley Journal	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>

### 13. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ – русский

Программу составил:

д. ф.-м. н. О. А. Новодворский