

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования\_  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Функциональные материалы

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и наноэлектроника

---

Направленность образовательной программы

Новые полупроводниковые технологии

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 Функциональные материалы относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-8: Способность разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	<p>ПК-8.1: Знает основы технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p> <p>ПК-8.2: Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p> <p>ПК-8.3: Имеет навыки проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p>	<p>ПК-8.1: Знать 31: основные разделы физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин, формирующих фундаментальную научно-образовательную базу, необходимую для решения задач в области физики функциональных материалов.</p> <p>ПК-8.2: Уметь У1: Уметь соотносить знания различных разделов физики конденсированного состояния с профильными знаниями в области физики функциональных материалов, а также со знаниями в смежных областях. У2: Уметь использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин для обоснования выбора оптимального способа решения поставленных задач.</p> <p>ПК-8.3: Владеть В1: Владеть методами,</p>	Задания Реферат	Экзамен: Контрольные вопросы

		теориями и инструментарием дисциплины «Функциональные материалы», базирующихся на различных разделах физики конденсированного состояния. В2: Владеть опытом использования знаний и методов физики конденсированного состояния для получения новых знаний и решения задач в области физики конденсированного состояния.		
--	--	---	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	22
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>68</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Тема 1: Введение. Основные термины и определения предмета «Функциональные материалы»	4	1		1	3
Тема 2: Электрические свойства материалов. Применение электрических свойств	4	1		1	3

Тема 3: Магнитные свойства материалов. Применение магнитных свойств	8	3		3	5
Тема 4: Тепловые и упругие свойства материалов. Применение.	9	3		3	6
Тема 5: Магнитоэлектрические эффекты в твердотельных материалах. Применение магнитоэлектрических эффектов	9	3		3	6
Тема 6: Магнитоупругие явления. Применение магнитоупругих явлений.	9	3		3	6
Тема 7: Электромеханические явления. Применение электромеханических явлений.	9	3		3	6
Тема 8: Термоэлектрические явления. Применение термоэлектрических явлений.	9	3		3	6
Тема 9: Магнитотепловые явления. Применение магнитотепловых явлений	9	2		2	7
Эпитаксия полупроводников. Лабораторные работы «Газофазная эпитаксия», «Молекулярно-лучевая эпитаксия»	36		16	16	20
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	22	16	40	68

### Содержание разделов и тем дисциплины

В рамках курса «Функциональные материалы» рассматриваются физические принципы управления свойствами металлических, полупроводниковых и диэлектрических материалов, а также взаимосвязи между различными физическими свойствами материалов, а также вопросы практического применения материалов.

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: выполнение проекта, решение прикладной задачи кейса по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Выполнение производственно-технологических задач профессиональной деятельности: Анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников. Определение цели, постановка задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготовка технических заданий на выполнение проектных работ. Проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований. Разработка проектно-конструкторской документации в соответствии с методическими и нормативными требованиями.

- компетенций:

- ПК-8. Способность разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий, лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 8 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Функциональные материалы, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=4990>.

Иные учебно-методические материалы:

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению лабораторных работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения лабораторных работ, а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.8 настоящей рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-8:**

1. Сформулируйте определение «Функциональные материалы» на основе Ваших знаний в области Физики твёрдого тела и известных из литературы определений этого термина.
2. Приведите примеры «Функциональные материалы» на основе Ваших знаний в области специализированных дисциплин.
3. Объясните ключевые понятия термина «Функциональные материалы».
4. Опишите свойства полупроводников с точки зрения приведённых в курсе металлов и диэлектриков.
5. Укажите каким образом изменяется симметрия кристалла при фазовом переходе диэлектрик-сегнетоэлектрик.
6. Назовите «типичные» электрические свойства ферромагнитных материалов.
7. Укажите разницу между спонтанной и остаточной намагниченностью ферромагнетиков.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Реферат) для оценки сформированности компетенции ПК-8:**

Темы

1. Сегнетоэластики. Описание сегнетоэластического эффекта. Применение сегнетоэластиков.
2. Магнитокалорические эффекты.
3. Пьезоэлектрики;
4. Мультикалорический эффект;
5. Магнитострикционные элементы перемещений. Преимущества, недостатки;
6. Современное применение термоэлектриков;
7. Сравнение постоянных магнитов и магнитоэлектрических материалов.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Реферат)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы навыки при решении нестандарт	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х задач
--	--	---------------------	---	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-8

Определение функциональные материалы. Классификация. Свойства материалов. Воздействия и реакции.

Электрические свойства материалов. Основные количественные соотношения. Металлы диэлектрики и полупроводники. Применение.

Сегнетоэлектрики. Общее описание свойств сегнетоэлектриков. Применение сегнетоэлектриков.

Магнитные свойства материалов. Основные количественные соотношения. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики.



Ферромагнетики и антиферромагнетики. Общее описание свойств. Применение ферромагнетиков и антиферромагнетиков.
Тепловые свойства материалов. Уравнение для теплового потока. Понятие теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
Упругие свойства материалов. Закон Гука.
Магнитоэлектрические эффекты. Основные количественные отношения. Подходы к описанию свойств.
Сегнетомагнитный эффект. Мультиферроики. Основные количественные отношения. Применение эффекта.
Магнитоэлектрические явления. Эффект Холла.
Магнитострикционные явления. Спонтанная магнитострикция. Фазовые переходы при магнитострикции.
Магнитоупругий эффект. Механострикция. Пьезомагнетизм.
Применение магнитострикционных явлений.
Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье.
Применение термоэлектрических явлений. Термоэлектрические источники энергии.
Электромеханические эффекты. Основные количественные отношения. Пьезоэффекты.
Тензорезистивный эффект. Применение пьезоэлектриков.
Сегнетоэластики. Описание сегнетоэластического эффекта. Применение сегнетоэластиков.
Магнитокалорические эффекты. Основные количественные отношения. Применения магнитокалорических эффектов. Магнитное охлаждение.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена

Оценка	Критерии оценивания
	дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] : в 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред / [отв. ред. Л. П. Питаевский]. - 3-е изд., испр. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. - 664 с. : ил. - 1400.00., 9 экз.
2. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : Учебное пособие для вузов: В 5 томах Том 3: Электричество. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2015. - 656 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1643-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=621748&idb=0>.
3. Калашников Сергей Григорьевич. Электричество : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов. - Изд. 6-е, стер. - М. : Физматлит, 2004. - 624 с. - ISBN 5-9221-0312-1 : 283.00., 3 экз.
4. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 494 с. - 78.54., 33 экз.
5. Павлов Д. А. Эффект Холла : практикум / Павлов Д. А., Планкина С. М., В. К. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2013. - 24 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 210100 – Электроника и нанoeлектроника, 222900 – Нанотехнологии и микросистемная техника. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729899&idb=0>.

6. Иона Ф. Сегнетоэлектрические кристаллы / пер. с англ. Л. А. Фейгина и Б. К. Севастьянова ; под ред. Л. А. Шувалова. - М. : Мир, 1965. - 555 с. : ил. - 2.46., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Шаскольская Марианна Петровна. Кристаллография : [учеб. пособие для вузов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1984. - 375 с., 4 л. ил. : ил. - 1.40., 96 экз.
2. Аваев Николай Александрович. Основы микроэлектроники : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов. - М. : Радио и связь, 1991. - 287, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00692-4 (в пер.) : 2.00., 52 экз.
3. Вонсовский Сергей Васильевич. Магнетизм. - М. : Наука, 1984. - 208 с. : ил. - (Проблемы науки и технического прогресса : ПНТП). - 0.80., 1 экз.
4. Данилов Ю. А. Основы спинтроники : учебное пособие / Данилов Ю. А., Демидов Е. С., Ежевский А. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2009. - 173 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730304&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Коротких А.Г. Теплопроводность материалов. Учебное пособие. ТПУ. 2011. 97 С. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу [http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/STZIBULSKY/academic/Tab2/Teploprovodnost\\_mat.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/STZIBULSKY/academic/Tab2/Teploprovodnost_mat.pdf)]

Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики / А.П. Пятаков, А.К. Звездин // Успехи физических наук. 2012. Т.182. С.593–620. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу <http://ufn.ru/ru/articles/2012/6/b/> ].

Гигантская магнитострикция / К.П. Белов, Г.И. Катаев, Р.З. Левитин, С.А. Никитин, В.И. Соколов // Успехи физических наук. 1983. Т.140, вып.2. С.271-312. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу <http://ufn.ru/ru/articles/1983/6/c/>].

Спонтанная и индуцированная внешним магнитным полем магнитострикция в многокомпонентных сплава на основе RCo<sub>2</sub> / Г.А. Политова, В.Б. Чжан, И.С. Терёшина, Г.С. Бурханов, А.А. Манаков, О.А. Алексеева, А.В. Филимонов, А.С. Илюшин // Физика твёрдого тела. 2015. Т.57, вып.2. С.2345-2349. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/42487> ].

Сегнетоэластики – новый класс кристаллических твёрдых тел / С.А. Гриднев // Соросовский образовательный журнал. Физика. 2000. Т.6, вып.8. С.100-107. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу [http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008\\_100.pdf](http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008_100.pdf) ].

С.А. Гриднев Сегнетоэластические кристаллы. Основные свойства, влияние дефектов. Книги портала РФФИ. 2002. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_15220](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_15220) ].

Термомагнитные и термоэлектрические явления в науке и технике / С.А. Алиев, Э.И. Зульфигаров // Монография – Баку, «Элм», 2009, 325 С. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу [http://anl.az/el\\_ru/a/as\\_ttynt.pdf](http://anl.az/el_ru/a/as_ttynt.pdf) ].

Статьи об определении термина «Функциональные материалы»  
[<http://old.fnm.msu.ru/documents/16/1intro.pdf>; [www.nsu.ru/rs/mw/link/Media:/5618/kach.ppt](http://www.nsu.ru/rs/mw/link/Media:/5618/kach.ppt);  
<http://www.imperial.ac.uk/materials/research/functional/>; [www.miics.net/archive/getfile.php?file=114](http://www.miics.net/archive/getfile.php?file=114) ]

Обзорные статьи по сегнетоэлектрическим материалам  
[[http://dssp.petrstu.ru/p/tutorial/ftt/Part8/part8\\_6.htm](http://dssp.petrstu.ru/p/tutorial/ftt/Part8/part8_6.htm) ; <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=38442> ;  
<http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/690589>]

Revival of the magnetoelectric effect / M. Fiebig // J. Phys D. Appl. Phys. - 2005. - V.38. - P.R123-R152.  
– Возрождение магнитоэлектрического эффекта [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/38/8/R01/meta> ].

Trend: Classifying multiferroics: Mechanisms and effects / D. Lhomskii // Physics. 2009. V.2. P.20.  
[статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу  
<https://physics.aps.org/articles/pdf/10.1103/Physics.2.20> ].

Особенности магнитных, магнитоэлектрических и магнитоупругих свойств ферробората самария  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  / Ю.Ф. Попов, А.П. Пятаков, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьёв, А.К. Звездин, А.А. Мухин, В.Ю. Иванов, И.А. Гудим // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2010. Т.138, вып.2(8). С.226-230. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу [http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/r\\_138\\_226.pdf](http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/r_138_226.pdf) ].

Магнитострикция редкоземельных металлов, в парамагнитном, антиферромагнитном и ферромагнитном состояниях / К.П. Белов и др. / ЖЭТФ. - 1965. - Т.49, вып.6. - С.1733-1740.  
[статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу  
[http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/e\\_022\\_06\\_1185.pdf](http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/e_022_06_1185.pdf) ].

Н.П. Гражданкина / Магнитные фазовые переходы // УФН. - 1965. - Т.96, вып.2. - С.291-325.  
[статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу  
<http://ufn.ru/ru/articles/1968/10/d/> ].

О проявлении пиромангнитного эффекта в ферромагнетиках со слабой подрешёткой / К.П. Белов // Успехи физических наук. 2000. Т.170, вып.4. С.447–454. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу [https://ufn.ru/ufn00/ufn00\\_4/Russian/r004e.pdf](https://ufn.ru/ufn00/ufn00_4/Russian/r004e.pdf) ].

Кварцевые резонаторы. Описание задач спецпрактикума. А.А. Белов, А.В. Степанов. М. МГУ. 2012. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу  
<http://www.osc.phys.msu.ru/mediawiki/upload/9/99/KRR.pdf> ].

Магнитокалорический эффект в магнитоупорядоченных кристаллах. Состояние проблемы и перспективы технических приложений / Е.В. Бабкин // Вестник Сибирского государственного

аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2007. С.31-34. [статья находится в открытом доступе с серверов ННГУ по электронному адресу <https://cyberleninka.ru/article/v/magnitokaloricheskiy-effekt-v-magnitouporyadochennyh-kristallah-sostoyanie-problemy-i-perspektivy-tehnicheskikh-prilozheniy> ].

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебно-лабораторные интерактивные комплексы «Схемотехника радиофотоники» (рук. Бобров А.И., г. Н. Новгород, пр-кт Гагарина, д.23 корп.3, ауд. 121, ауд.226, ауд. 228, ауд. 339, ауд.534) и «Технологии интегральных схем» (рук. Дорохин М.В., г. Н. Новгород, пр-кт Гагарина, д.23 корп.3, ауд.412а, ауд.437) для проведения занятий со студентами с использованием современного технологического оборудования, современных условий производства (чистых зон), современных методов измерений характеристик изделий микроэлектроники, предусмотренных программой, оснащенный - чистой зоной (ISO-7) для обеспечения технологического процесса и ознакомления студентов с правилами работы в чистых помещениях; - высокотехнологичным оборудованием:

- фемтосекундный лазер FX200 – для исследования динамических эффектов в элементах оптоэлектроники, развития методической базы и привлечения студентов к современным методам измерений характеристик оптоэлектронных компонент;
- пикосекундный лазер PX110 – для исследования динамических эффектов в элементах оптоэлектроники, элемент технологического цикла оптоэлектроники, разработка новой технологической линейки с использованием методов лазерного отжига, обучение студентов современным технологическим процессам;
- установка микросварки RM-BW – технологический компонент для присоединения контактов к полупроводниковым компонентам, обучение студентов практическим навыкам работы на автоматизированном монтажном оборудовании.

Для выполнения лабораторных работ со стороны НИФТИ ННГУ предоставляется доступ к современному исследовательскому и технологическому оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

Универсальная установка для гальваноманитных и оптических исследований на базе криостата Janis CCS-300S/202.

Установка для исследования термоэлектрических свойств материалов.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Дорохин Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Нохрин Алексей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.

