

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 7 от 28.06.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Функциональные материалы

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность образовательной программы

Новые полупроводниковые технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2023 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

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

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]

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 RCo₂ / 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].

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].

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].

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.imperial.ac.uk/materials/research/functional/>; 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://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].

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].

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].

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-лабораторный интерактивный комплекс «Схемотехника радиофотоники» 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: Чувильдеев Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.