

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

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

Решением ученого совета ННГУ

протокол от

«30» ноября 2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины

Функциональные материалы

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки

03.04.02 – Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород - 2023

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Функциональные материалы» (Б1.В.ДВ.05.06) относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». Дисциплина является дисциплиной выбора для освоения на первом году обучения, во 2-м семестре.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Блок 1. Дисциплины (модули). Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.05.06 относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ООП направления подготовки 03.04.02 Физика

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.

Целью освоения дисциплины «Функциональные материалы» является формирование у студентов знаний в области базовых физических принципов проявления свойств материалов, а также технологических методов применения этих свойств.

- дать студентам расширенное представление о законах и методах современной физики твёрдого тела, научить использовать эти знания для решения задач, возникающих перед специалистами-материаловедами;
- научить описывать сложные явления, протекающие в твердотельных материалах на языке физического материаловедения;
- научить составлять рекомендации (предписания), позволяющие подбирать методы и режимы модификации свойств материалов;
- научить студентов использовать теоретические знания в области физики конденсированного состояния для решения практических задач (экспериментальных исследований), связанных с изучением физических явлений в твердотельных материалах.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	ПК-1.1 Знание принципов построения научной работы, методов сбора и анализа полученного материала	31: Знать основные разделы физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин, формирующих фундаментальную научно-образовательную базу, необходимую для решения задач в области физики функциональных материалов.	Собеседование Реферат
		32 Знать современные	Собеседование

		тенденции развития физического материаловедения в области функциональных материалов. ЗЗ: Знать методы анализа и контроля функциональных материалов и систем.	Реферат Собеседование Реферат
	ПК-1.2 Уметь осуществлять постановку и проведение экспериментов с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	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. У3: Уметь учитывать современные тенденции развития физического материаловедения в области функциональных материалов при решении профессиональных задач.	Собеседование Задачи Реферат Собеседование Реферат Собеседование Реферат
	ПК-1.3 Навыки решения поставленных задач с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	В1: Владеть опытом использования современных методов и подходов в решении задач материаловедения в своей профессиональной деятельности.	Задачи Отчет о выполнении практического задания

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов практические занятия, 2 часа контроль самостоятельной работы), 38 часов самостоятельная работа обучающегося, 36 часов мероприятия промежуточной аттестации (включая подготовку обучающегося к экзамену)

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	3 з.е.
Часов по учебному плану в том числе	108
аудиторные занятия (контактная работа):	34
- занятия лекционного типа, ч	16
- практические занятия, ч	16
самостоятельная работа, ч	38
КСРИФ	2
Промежуточная аттестация	Экзамен

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Консультации	Всего	
Тема 1: Введение. Основные термины и определения предмета «Функциональные материалы»	7	1		0		1	6
Тема 2: Электрические свойства материалов. Применение электрических свойств	12	1		3		4	8
Тема 3: Магнитные свойства материалов. Применение магнитных свойств	9	1		0		1	8
Тема 4: Тепловые и упругие свойства материалов. Применение.	13	1		4		5	8
Тема 5: Магнитоэлектрические эффекты в твердотельных материалах. Применение магнитоэлектрических эффектов	11	2		0		2	9
Тема 6: Магнитоупругие явления. Применение магнитоупругих явлений.	11	2		0		2	9
Тема 7: Электромеханические явления. Применение электромеханических явлений.	12	3		0		3	9
Тема 8: Термоэлектрические явления. Применение термоэлектрических явлений.	20	4		8		12	8
Тема 9:Магнитотепловые явления. Применение магнитотепловых явлений.	13	2		2		4	9
В том числе текущий контроль – 2 часа							
Промежуточная аттестация:							
Экзамен – по итогам обучения – 36 часов на промежуточный контроль успеваемости							

Краткое содержание основных разделов (тем) дисциплины «Функциональные материалы»

Тема 1: Введение. Основные термины и определения предмета «Функциональные материалы»

Определение термина «функциональные материалы». Ключевые понятия термина «функциональные материалы». Классификации функциональных материалов по принципу их применения. Свойства материалов. Воздействия и реакции. Электрические, магнитные, тепловые и упругие свойства. Взаимосвязь между свойствами. Треугольники взаимосвязей.

Тема 2: Электрические свойства материалов. Применение электрических свойств.

Электрические свойства материалов. Реакция материалов на электрическое поле: металлы диэлектрики и полупроводники. Поляризация диэлектриков. неполярные, полярные, ионные диэлектрики. Сегнетоэлектрики. Свойства сегнетоэлектриков. Макроскопические механизмы сегнетоэлектрического эффекта. Титанат барриера. Спонтанная поляризация. Применение диэлектриков: конденсаторы, оптические преобразователи. Применение сегнетоэлектрических материалов. Вариконды, элементы памяти.

Лабораторная работа по теме №2.

Тема 3: Магнитные свойства материалов. Применение магнитных свойств.

Магнитный момент и намагниченность. Магнитные квантовые числа в квантовой механике: спин и момент количества движения. Магнитный момент твердотельных материалов. Материалы во внешнем магнитном поле. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Природа ферромагнетизма, спонтанная намагниченность. Точка Кюри. Применение ферромагнетиков. Спинтроника. Антиферромагнетики и ферримагнетики.

Тема 4: Тепловые и упругие свойства материалов. Применение.

Тепловые свойства материалов. Теплопроводность. Температуропроводность. Теплоёмкость. Основное уравнение теплопроводности. Уравнение теплопроводности в интегральном и дифференциальном виде. Примеры граничных условий для решения уравнений теплопроводности. Упругие свойства материалов. Деформации. Тензор напряжений. Связь между деформациями и напряжениями. Закон Гука. Сегнетоэластики. Микроскопическая природа сегнетоэластического эффекта. Общие закономерности электрического, магнитного и упругого упорядочения твёрдых тел. Применение сегнетоэластиков.

Лабораторная работа по теме №3.

Тема 5: Магнитоэлектрические эффекты в твердотельных материалах. Применение магнитоэлектрических эффектов.

Магнитоэлектрический эффект. Основные количественные соотношения и микроскопический механизм явления. Симметрия кристаллов и магнитоэлектрический эффект. Микроскопические механизмы явления. Сегнетомагнитный эффект. Понятие о мультиферроиках. Сегнетомагнетики первого и второго рода. Применение магнитоэлектрического эффекта. Применение сегнетомагнетиков. Эффект Холла.

Тема 6: Магнитоупругие явления. Применение магнитоупругих явлений.

Явление магнитострикции. Магнитострикция парапроцесса. Спонтанная магнитострикция. Микроскопические механизмы магнитострикции. Дипольная магнитострикция. Обменная магнитострикция. Одноионная магнитострикция. Описание спонтанной магнитострикции. Фазовые переходы первого и второго рода. Магнитоупругий эффект. Магнитоупругий эффект в области технического намагничивания. Магнитоупругий эффект парапроцесса. Механострикция. Аномалия модуля упругости, обусловленная механострикцией парапроцесса.

Пьезомагнетизм. Применение магнитострикционных явлений. Источники звука. Фильтры, линии задержки. Датчики и механизмы перемещений.

Тема 7: Электромеханические явления. Применение электромеханических явлений.

Электромеханические явления. Эффект электрострикции. Упругие напряжения в эффекте электрострикции. Прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты. Микроскопические механизмы пьезоэффекта. Тензорезистивный эффект (пьезорезистивный эффект). Применение пьезоэлектрических материалов. Электрические фильтры, генераторы электрических сигналов. Кварцевый генератор. Пьезоэлектрические сенсоры и датчики. Пьезоэлектрические актюаторы. Пьезотрансформаторы.

Тема 8: Термоэлектрические явления. Применение термоэлектрических явлений.

Эффект Зеебека. Эффект Пелтье. Механизмы эффекта Зеебека. Основные количественные характеристики эффекта Зеебека. Эффект Зеебека в металлах, диэлектриках и полупроводниках. Эффект Зеебека и тип проводимости материала. Применение эффекта Зеебека: источники питания. Основные характеристики источников питания на эффекте Зеебека. Термоэлектрическая добротность. Пути повышения термоэлектрической добротности. Измерение коэффициента Зеебека.

Лабораторная работа по теме №8.

Тема 9: Магнитотепловые явления. Применение магнитотепловых явлений.

Термомагнитные явления. Магнитокалорический эффект. Механизмы магнитокалорического эффекта. Основные энергетические соотношения. Применение магнитокалорического эффекта. Магнитное охлаждение. Цикл Карно и цикл Стирлинга. Пиромагнитный эффект.

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогическая форма проведения лекций, элементы научной дискуссии. Лекции проводятся с использованием средств мультимедиа.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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.6 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс (Функциональные материалы, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=4990>), созданный в системе электронного обучения ННГУ - <https://e-learning.unn.ru/>.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

5.1 Описание шкал оценивания

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
Полнота знаний	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Наличие умений	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
Наличие навыков (владение опытом)	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Мотивация (личностное отношение)	Полное отсутствие учебной активности и мотивации	Учебная активность и мотивация низкие, выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют	Учебная активность и мотивация низкие, слабо выражены, стремление решать задачи качественно	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять дополнительные задачи на высоком уровне качества
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция в не сформирована. отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.
Уровень сформированности	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий

компетенций						
-------------	--	--	--	--	--	--

При промежуточной аттестации студентов на экзамене используется традиционная семибалльная шкала оценивания (выставления оценки («Плохо», «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично», «Превосходно»)), общие критерии выставления оценок по которой определены приказом ректора ННГУ №229-ОД от 10 октября 2002 г.

Оценка	Критерий выставления
Превосходно	Отличная подготовка. Студент самостоятельно решает задачу, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
Отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на вопросы допускаются незначительные неточности.
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.
Хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
Удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя.
Неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Задача не решена. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- тестирование (текущий контроль);
- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- письменные ответы на вопросы (промежуточная аттестация).

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются следующие процедуры и технологии:

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- индивидуальная или групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания повышенной сложности (факультативные задачи или практические задания) (текущий контроль).

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Типовые вопросы к экзамену по дисциплине «Функциональные материалы»

1. Определение функциональных материалов. Классификация. Свойства материалов. Воздействия и реакции.

2. Электрические свойства материалов. Основные количественные соотношения. Металлы диэлектрики и полупроводники. Применение.
3. Сегнетоэлектрики. Общее описание свойств сегнетоэлектриков. Применение сегнетоэлектриков.
4. Магнитные свойства материалов. Основные количественные соотношения. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики.
5. Ферромагнетики и антиферромагнетики. Общее описание свойств. Применение ферромагнетиков и антиферромагнетиков.
6. Тепловые свойства материалов. Уравнение для теплового потока. Понятие теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
7. Упругие свойства материалов. Закон Гука.
8. Магнитоэлектрические эффекты. Основные количественные отношения. Подходы к описанию свойств.
9. Сегнетомагнитный эффект. Мультиферроики. Основные количественные отношения. Применение эффекта.
10. Магнитоэлектрические явления. Эффект Холла.
11. Магнитострикционные явления. Спонтанная магнитострикция. Фазовые переходы при магнитострикции.
12. Магнитоупругий эффект. Механострикция. Пьезомагнетизм.
13. Применение магнитострикционных явлений.
14. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье.
15. Применение термоэлектрических явлений. Термоэлектрические источники энергии.
16. Электромеханические эффекты. Основные количественные отношения. Пьезоэффекты.
17. Тензорезистивный эффект. Применение пьезоэлектриков.
18. Сегнетоэластики. Описание сегнетоэластического эффекта. Применение сегнетоэластиков.
19. Магнитокалорические эффекты. Основные количественные отношения. Применения магнитокалорических эффектов. Магнитное охлаждение.

Типовые примеры задач

Задача №1

Рассчитать значения концентрации носителей заряда и подвижность в полупроводниковой пластине с геометрическими параметрами $d=0,5$ мм, $l=5$ мм, $w=5$ мм в случае, если ЭДС Холла равна 10 мВ в магнитном поле 1000 Э.

(При расчетах принять, что ток течёт вдоль направления l , величина тока равна 10 мА, удельное сопротивление образца равно $1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, Холл-фактор принять равным единице).

Задача №2

Рассчитать относительное изменение сопротивления (магнитосопротивление) в полупроводниковой пластине с геометрическими параметрами $d=0,5$ мм, $l=7$ мм, $w=5$ мм в магнитном поле 1000 Э.

(При расчетах принять, что ток течёт вдоль направления l , удельное сопротивление образца без магнитного поля равно $1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, зависимость подвижности от магнитного поля принять равной

$$\mu = \mu_0 \left(1 - \frac{H^2}{H_s^2}\right).$$

Задача №3

Как изменится ЭДС Холла в материале в том случае, если подвижность носителей заряда уменьшится в два раза? Если концентрация носителей упадёт на порядок?

Задача №4

Рассчитать величину изменения намагниченности под действием малого всестороннего сжатия P в материале, для которого известна функция магнитострикционного эффекта (зависимость относительной деформации от магнитного поля $w(H)$ при постоянных температуре и давлении). (При расчетах принять, что величина магнитного поля значительно ниже магнитного поля насыщения).

Задача №5

Известно, что в полупроводниковом материале при температуре T_0 величина термоЭДС составляла U_0 . Рассчитать, как изменится измеряемая величина термоЭДС при небольшом изменении температуры $T_0 + \Delta T$ для случая, когда температурная зависимость электрического сопротивления описывается функцией $R(T) = R_0 \cdot \exp(E_a/kT)$.

Задача №6

Найти коэффициент Зеебека для GaAs-электронного типа проводимости с концентрацией 10^{18} см^{-3} для температуры вблизи комнатной (300 K).

(При расчетах зависимость подвижности электронов в GaAs от концентрации пренебречь, концентрацию дырок принять равной нулю, подвижность электронов в GaAs принять $3500 \text{ см}^2/\text{Вс}$, эффективная масса электронов – $0,061$ массы свободного электрона).

Задача №7

Сравнить значения коэффициента термоэлектрической добротности для Si и GaAs-электронного типа проводимости с концентрациями 10^{19} см^{-3} для температуры вблизи комнатной (300 K).

(При расчетах зависимость подвижности электронов от концентрации пренебречь, концентрацию дырок принять равной нулю. Подвижность электронов в GaAs принять $3500 \text{ см}^2/\text{Вс}$, в кремнии – $2500 \text{ см}^2/\text{Вс}$, эффективная масса электронов – $0,061$ массы свободного электрона, теплопроводность GaAs – $46 \text{ Вт}/(\text{мК})$, теплопроводность Si – $149 \text{ Вт}/(\text{мК})$).

Задача №8

Оценить значение КПД термоэлектрического преобразователя энергии при условии, что величина $ZT = 1,1$, а на концах преобразователя создается градиент температур равный 10 K .

(При расчетах принять температуру измерений равную 500 K).

Задача №9

Рассчитать ход лучей в сегнетоэластическом оптическом сканаторе при расположении двояковыпуклой линзы на $1,5$ фокусных расстояниях от сегнетоэластика и расположении экрана на расстоянии 2 фокусных расстояний от сегнетоэластика.

(При расчетах принять, что размеры границы доменных стенок сегнетоэластика много меньше размеров материала).

Полные контрольные задания для текущего и промежуточного контроля сформированности компетенций приведены в п.3 Фонда оценочных средств дисциплины «Функциональные материалы».

5.2.3 Типовые тестовые задания

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.

5.2.3. Типовые задания/задачи

1. Приведите примеры взаимосвязи различных свойств твердотельных материалов.
 2. Предложите вариант графического отображения взаимосвязей различных свойств («треугольник взаимосвязей»).
 3. Выведите формулу основного уравнения теплопроводности.
 4. Рассмотрите основные виды граничных условий при решении уравнения теплопроводности.
 5. Рассмотрите вывод уравнения Коши – уравнения эластодинамики или движения упругого тела.
 6. На основании известных количественных соотношений определите классы симметрии твёрдых тел, для которых возможно наблюдение магнитоэлектрических эффектов.
 7. Выведите неравенства, определяющие наиболее выгодный вид упорядочения (ферромагнитное или антиферромагнитное) в результате суперобменного магнитного взаимодействия между атомами.
 8. На основании известных количественных соотношений определите классы симметрии твёрдых тел, для которых возможно наблюдение сегнетомагнитного эффекта.
 9. Используя основную формулу для описания магнитоstrictionных явлений, назовите, какие физические явления описывают отдельные слагаемые в формуле.
 10. Для каких материалов характерно относительное изменение длины при эффекте магнитоstrictionии равно 10^{-2} .
Обоснуйте отрицательный знак в формуле для магнитоупругой энергии материала
- $$U_{упр} = - \left(\frac{\mu_1}{2} (\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2) + \frac{\mu_2}{2} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})^2 + \mu_3 (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2) \right)$$
11. Выведите формулу, описывающую взаимосвязь магнитоупругого эффекта и магнитоstrictionии.
 12. Сравните выражения для относительных деформаций в эффектах электроstrictionии и магнитоstrictionии.
 13. Получите выражение для ЭДС Холла при условиях переноса носителей заряда в полупроводниковом материале.
 14. Оцените диапазон измеряемой величины ЭДС Холла при изменении значений фактора Холла в характерном для полупроводников диапазоне.
 15. Назовите характерные величины эффекта механоstrictionии для известных промышленных материалов (Ni, сталь, железо).
 16. Получите выражение для взаимосвязи электропроводности и коэффициента теплопроводности в полупроводниковом материале.
 17. Напишите формулу для пересчёта КПД термоэлектрического преобразователя энергии из безразмерного коэффициента термоэлектрической добротности ZT.
 18. Докажите, что знак термоЭДС зависит от типа проводимости (электронная или дырочная) в термоэлектрическом материале.
 19. По заданной зависимости концентрации носителей заряда от температуры запишите выражение для величины термоЭДС полупроводника GaAs с электронным типом проводимости.
 20. Назовите общие особенности сегнетоэластических, сегнетоэлектрических и ферромагнитных материалов.
 21. Опишите прохождение лучей света в сегнетоэластике с двумя доменами в направлении, лежащем вдоль границы этих доменов. Перпендикулярно границе.
 22. Назовите необходимое условие для регистрации магнитокалорического эффекта.
 23. С использованием терминологии энтропии приведите простейшее обоснование наблюдения магнитокалорического эффекта.

24. Изложите основные физические принципы использования магнитострикционных материалов в качестве резонансных фильтров.
25. Оцените коэффициент магнитомеханической связи заданного магнитострикционного материала.
26. Обоснуйте необходимость использования постоянного магнита в магнитострикционных фильтрах.
27. Предлагается схематически решить задачу измерения напряжений в цилиндрическом материале с помощью магнитострикционного тензометра.
28. Подберите размер магнитострикционного актюатора для перемещения с амплитудой 1 мм.
29. Оцените величину тензорезистивного эффекта в GaAs электронного типа проводимости с удельным сопротивлением 1 Ом/м.
30. Сравните по величине тензорезистивный эффект в металле (Cu) и полупроводнике (Si).

5.2.5 Темы курсовых работ, эссе, рефератов

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;

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Шаскольская, М.П. Кристаллография // М. Высш.школа. 1984. 375 С. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 2) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. // М. Наука. 1992. 661 С. [более 5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 3) Д.В. Сивухин / Общий курс физики. Электричество. // М. Наука. 1983. 687 С. [более 5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 4) С.Г. Калашников / Электричество // М. Наука. 1985. 586 С. [более 5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 5) П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов / Физика твёрдого тела // М. ВШ. - 1985. – 384 С. [более 5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 6) 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].
- 7) Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики / А.П. Пятаков, А.К. Звездин // Успехи физических наук. 2012. Т.182. С.593–620. [статья находится в открытом доступе и с серверов ННГУ по электронному адресу <http://ufn.ru/ru/articles/2012/6/b/>].
- 8) Эффект Холла / Д.А. Павлов, С.М. Планкина, А.В. Кудрин // Практикум. Изд. ННГУ. 2013. 24 С. [доступно по адресу: http://www.unn.ru/books/met_files/Hall%20Effect.pdf].
- 9) 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 доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://ufn.ru/ru/articles/1983/6/c/>].
- 10) Спонтанная и индуцированная внешним магнитным полем магнитострикция в многокомпонентных сплавах на основе RCo_2 / 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 доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/42487>].
- 11) Ф. Иона, Д. Ширане Сегнетоэлектрические кристаллы М. 1965. 555 С. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

- 12) Сегнетоэластики – новый класс кристаллических твёрдых тел / С.А. Гриднев // Соросовский образовательный журнал. Физика. 2000. Т.6, вып.8. С.100-107. [статья доступна с серверов ННГУ: http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/0008_100.pdf].
- 13) 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].
- 14) Термомагнитные и термоэлектрические явления в науке и технике / С.А. Алиев, Э.И. Зульфигаров // Баку, «Элм», 2009, 325 С. [доступно в электронном виде с серверов ННГУ по электронному адресу http://anl.az/el_ru/a/as_ttynt.pdf].

б) дополнительная литература:

- 1) Шаскольская М.П. Кристаллография // М. Высшая школа. 1984. 376 С. [5 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 2) Статьи об определении термина «Функциональные материалы» [статьи находятся в открытом доступе и доступны по ссылкам: <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].
- 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.8 Электродинамика сплошных сред. // М. Наука. 1992. 661 С. [15 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 4) Д.В. Сивухин / Общий курс физики. Электричество. // М. Наука. 1983. 687 С. [22 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 5) С.Г. Калашников / Электричество // М. Наука. 1985. 586 С. [15 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 1) Аваев, Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники, М. Радио и Связь. 1991 г. 288 С. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 2) Обзорные статьи по сегнетоэлектрическим материалам [http://dssp.petrus.ru/p/tutorial/ftt/Part8/part8_6.html; <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=38442>; <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/690589>].
- 6) Revival of the magnetoelectric effect / M. Fiebig // J. Phys D. Appl. Phys. - 2005. - V.38. - P.R123-R152. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/38/8/R01/meta>].
- 7) Магнетизм / С.В. Вонсовский // М. Наука. - 1971. - 1032 С. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
- 8) Основы спинтроники / Ю.А. Данилов, Е.С. Демидов, А.А. Ежевский // Н. Новгород, изд. ННГУ. 2009. 173 С. (электронное издание, http://www.unn.ru/books/met_files/spintronik.pdf).
- 9) Trend: Classifying multiferroics: Mechanisms and effects / D. Lhomskii // Physics. 2009. V.2. P.20. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <https://physics.aps.org/articles/pdf/10.1103/Physics.2.20>].
- 10) 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 // ЖЭТФ. 2010. Т.138, вып.2(8). С.226-230. [статья находится в открытом доступе и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/r_138_226.pdf].
- 11) 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 и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/dn/e_022_06_1185.pdf].
- 12) Н.П. Гражданкина / Магнитные фазовые переходы // УФН. - 1965. - Т.96, вып.2. - С.291-325. [статья доступна с серверов ННГУ по адресу <http://ufn.ru/ru/articles/1968/10/d/>].

- 13) О проявлении пиромангнитного эффекта в ферромагнетиках со слабой подрешёткой / К.П. Белов // Успехи физических наук. 2000. Т.170, вып.4. С.447–454. [статья доступна с серверов ННГУ по электронному адресу https://ufn.ru/ufn00/ufn00_4/Russian/r004e.pdf].
- 14) Кварцевые резонаторы. Описание задач спецпрактикума. А.А. Белов, А.В. Степанов. М. МГУ. 2012. [доступно в электронном виде и доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <http://www.osc.phys.msu.ru/mediawiki/upload/9/99/KRR.pdf>].
- 15) 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 доступна с серверов ННГУ по электронному адресу <https://cyberleninka.ru/article/v/magnitokaloricheskiy-effekt-v-magnitouporyadochennyh-kristallah-sostoyanie-problemy-i-perspektivy-tehnicheskikh-prilozheniy>].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
4. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
5. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
6. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWorld, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 – Физика и с учетом рекомендаций ООП ВО направленности «Физика конденсированного состояния».

Автор д.ф.-м.н., проф. Дорохин М.В.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

Рецензенты: зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от «17» ноября 2022 года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /