

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 10.08.2023 16:25:17
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько



«30»

мая

2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Физические свойства сегнетоэлектриков

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Кислова И.Л.

Kislova

Тверь, 2023

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины «Физические свойства сегнетоэлектриков» является углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики конденсированного состояния вещества, а также результаты экспериментальных исследований основных представителей сегнетоэлектричества

Задачами освоения дисциплины являются:

изучение фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к вопросам физики сегнетоэлектрических явлений и освоение методов физических исследований.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физические свойства сегнетоэлектриков» изучается в модуле «Диэлектрические материалы в радиофизике» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Учебная дисциплина «Физические свойства сегнетоэлектриков» базируется на курсах «Введение в физику конденсированных сред», «Фазовые переходы», «Физика диэлектриков».

Изучение дисциплины необходимо для успешного прохождения обучающимися преддипломной практики и выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра.

3. Объем дисциплины: 4 зачетные единицы, 144 академических часов, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 26 часов, лабораторные работы 52 часа, в том числе практическая подготовка 52 часа;

самостоятельная работа: 66 часов, в том числе контроль 27 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований. ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 8 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
Глава 1. Тепловые свойства сегнетоэлектриков. 1.1. Теплоемкость сегнетоэлектриков. 1.2. Теплопроводность сегнетоэлектрических кристаллов. 1.3. Аномалии тепловых свойств сегнетоэлектриков в районе фазового перехода и низких температур.	22	5		10	10	7

Глава 2 Упругие свойства сегнетоэлектриков. Поглощение ультразвука и внутреннее трение в сегнетоэлектриках	20	4		8	8	8
Глава 3. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков. 3.1. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков, не обладающих пьезоэффектом в параэлектрической фазе. 3.2. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков с пьезоэффектом в параэлектрической фазе.	26	6		12	12	8
Глава 4. Пироэлектрический и электрокалорический эффекты. 4.1. Первичный и вторичный пироэлектрический эффекты. 4.2. Термодинамическое описание пироэлектрического эффекта в монокристаллическом сегнетоэлектрике. 4.3. Влияние доменной структуры и электрического поля на пироэлектрические свойства сегнетоэлектриков. 4.4. Пироэлектрические свойства приповерхностных слоев сегнетоэлектриков. 4.5. Электрокалорический эффект. 4.6. Практическое использование этих эффектов.	26	6		12	12	8
Глава 5. Электрооптический эффект 5.1. Общие сведения. 5.2. Линейный и квадратичный ЭОЭ. 5.3. Истинный и ложный электрооптические эффекты 5.4. Спонтанный и индуцированный электрическим полем ЭОЭ в сегнетоэлектриках. 5.5. Экспериментальные методы определения электрооптических коэффициентов	23	5		10	10	8
экзамен	27					27
ИТОГО	144	26		52		66

III. Образовательные технологии

Учебная программа- наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
Глава 1. Тепловые свойства сегнетоэлектриков. 1.1. Теплоемкость сегнетоэлектриков. 1.2. Теплопроводность	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Дискуссия Традиционная лекция. Решение индивидуальных</i>

сегнетоэлектрических кристаллов. 1.3. Аномалии тепловых свойств сегнетоэлектриков в районе фазового перехода и низких температур.		<i>задач</i>
Глава 2 Упругие свойства сегнетоэлектриков. Поглощение ультразвука и внутреннее трение в сегнетоэлектриках	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Дискуссия Традиционная лекция. Решение индивидуальных задач</i>
Глава 3. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков. 3.1. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков, не обладающих пьезоэффектом в параэлектрической фазе. 3.2. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков с пьезоэффектом в параэлектрической фазе.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Дискуссия Традиционная лекция. Решение индивидуальных задач</i>
Глава 4. Пироэлектрический и электрокалорический эффекты. 4.1. Первичный и вторичный пироэлектрический эффекты. 4.2. Термодинамическое описание пироэлектрического эффекта в монокристаллическом сегнетоэлектрике. 4.3. Влияние доменной структуры и электрического поля на пироэлектрические свойства сегнетоэлектриков. 4.4. Пироэлектрические свойства приповерхностных слоев сегнетоэлектриков. 4.5. Электрокалорический эффект. 4.6. Практическое использование этих эффектов.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Дискуссия Традиционная лекция. Решение индивидуальных задач</i>
Глава 5. Электрооптический эффект 5.1. Общие сведения. 5.2. Линейный и квадратичный ЭОЭ. 5.3. Истинный и ложный электрооптические эффекты 5.4. Спонтанный и индуцированный электрическим полем ЭОЭ в сегнетоэлектриках. 5.5. Экспериментальные методы определения электрооптических коэффициентов	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Дискуссия Традиционная лекция. Решение индивидуальных задач</i>

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Форма проведения экзамена: студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой

аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

Задание:

Выполнить тест:

1. Теплоемкость твердых тел в области низких температур растет пропорционально
 - a) $C \sim T$
 - b) $C \sim T^2$
 - c) $C \sim T^3$
 - d) $C \sim \exp(T)$
2. Теплоемкость кристаллов в области высоких температур равна
 - a) 28 Дж/моль·К
 - b) 1 Дж/моль·К
 - c) 25 Дж/моль·К
 - d) 37,5 Дж/моль·К
3. Закон Кюри-Вейса имеет вид:
 - a) $\varepsilon = \frac{C}{T}$
 - b) $\varepsilon = \frac{C}{T-T_k}$
 - c) $\varepsilon = \frac{C}{T-T_k^2}$

d) $\varepsilon = \frac{c}{T^2}$

4. Изменение температуры кристалла, обладающего спонтанной поляризацией, приводит к появлению электрических зарядов на его определенных гранях. Это явление получило название:

- a) 1. пьезоэлектрического эффекта
- b) 2. пирозэлектрического эффекта
- c) 3. электрооптического эффекта
- d) 4. эффекта электрострикции

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

ПК-4.4. Решает аналитические задачи в области физического материаловедения.

Задание:

Ответ на вопрос: Описать поглощение ультразвука и внутреннее трение в сегнетоэлектриках.

Способ аттестации: устный

Критерии оценки:

- Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.
- Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.
- Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Теплоемкость сегнетоэлектриков.
2. Теплопроводность сегнетоэлектрических кристаллов.

3. Аномалии тепловых свойств сегнетоэлектриков в районе фазового перехода и низких температур.

4. Поглощение ультразвука и внутреннее трение в сегнетоэлектриках

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков, не обладающих пьезоэффектом в параэлектрической фазе.

2. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков с пьезоэффектом в параэлектрической фазе.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Термодинамическое описание пироэлектрического эффекта в монокристаллическом сегнетоэлектрике.

2. Влияние доменной структуры и электрического поля на пироэлектрические свойства сегнетоэлектриков.

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Пироэлектрические свойства приповерхностных слоев сегнетоэлектриков.

2. Электрокалорический эффект.

3. Практическое использование этих эффектов.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Линейный ЭОЭ.

2. Квадратичный ЭОЭ.

3. Истинный и ложный электрооптические эффекты

4. Спонтанный и индуцированный электрическим полем ЭОЭ в сегнетоэлектриках.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Первичный пьезоэлектрический эффект.
2. Вторичный пьезоэлектрический эффект.
3. Экспериментальные методы определения электрооптических коэффициентов

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Алешкевич В.А. Электромагнетизм: учебник. - М.: Физматлит, 2014. - 404 с. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275299>

б) Дополнительная литература:

1. [Кузнецов С. И.](#) Курс лекций по физике. Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм. Колебания и волны: Учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политех. университета, 2016. - 290 с. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=675264>
2. Физика сегнетоэлектриков. Современный взгляд. Под редакцией К.М. Рабе, Ч.Г. Анна, Ж.-М Трискона. Москва. БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011. 440 с.
3. Головнин В.А., Каплунов И.А., Малышкина О.В., Педько Б.Б., Мовчикова А.А. Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезоматериалов. М.: Техносфера, 2013, 271 с. <http://mega.lib.tversu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/3731826>
4. В.А.Головнин, И.А. Каплунов, Б.Б. Педько, О.В.Малышкина, А.А.Мовчикова. Материаловедение электронной техники. Технологии наноматериалов. Учебное пособие. Тверь, ТвГУ, 2011, 100 с. http://texts.lib.tversu.ru/texts/materialovedenie_elektronnoy_tehniki_tehnologii_nanomaterialov/Start.html

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com;

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

1) Планы лабораторных занятий и методические рекомендации к ним.

Лабораторные занятия включают в себя экспериментальное или теоретическое исследование свойств и процессов в полупроводниковых материалах и структурах на их основе, а также его обсуждение в группе.

Список лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента тепловой диффузии кристаллов ТГС импульсным методом, модифицированным включением пироэлектрического детектора

Лабораторная работа № 2

Лабораторная работа №3 Пьезоэлектрические свойства сегнетоэлектриков (часть 1, 2)

Лабораторная работа №4. Пироэлектрические свойства сегнетоэлектриков (квазистатический метод)

Лабораторная работа №5 Определение величины пирокоэффициента образца кристалла ТГС динамическим методом (часть 1, 2)

Лабораторная работа №6 Электрооптические свойства сегнетоэлектриков (На примере кристалла LiNbO_3)

Лабораторная работа №7 Пространственное распределение поляризации в сегнетоэлектрических материалах и вид частотных зависимостей пиротока

Лабораторная работа №8 Восстановление распределения поляризации по частотным зависимостям пьезоэлектрического отклика (ЛИММ- МЕТОД).

2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

Самостоятельная работа студентов предполагает:

–обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;

–углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;

–использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

Перечень вопросов для систематизации знаний:

- 1.Теплоемкость сегнетоэлектриков.
- 2.Теплопроводность сегнетоэлектрических кристаллов.
3. Аномалии тепловых свойств сегнетоэлектриков в районе фазового перехода и низких температур.
- 4.Поглощение ультразвука и внутреннее трение в сегнетоэлектриках
- 5.Электромеханические свойства сегнетоэлектриков, не обладающих пьезоэффектом в параэлектрической фазе.
6. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков с пьезоэффектом в параэлектрической фазе.
7. Первичный и вторичный пьезоэлектрический эффекты.
8. Термодинамическое описание пьезоэлектрического эффекта в монокристаллическом сегнетоэлектрике.
9. Влияние доменной структуры и электрического поля на пьезоэлектрические свойства сегнетоэлектриков.
10. Пьезоэлектрические свойства приповерхностных слоев сегнетоэлектриков.
11. Электрокалорический эффект.

12. Практическое использование этих эффектов.
13. Общие сведения.
14. Линейный и квадратичный ЭОЭ.
15. Истинный и ложный электрооптические эффекты
16. Спонтанный и индуцированный электрическим полем ЭОЭ в сегнетоэлектриках.
17. Экспериментальные методы определения электрооптических коэффициентов

3) Требования к рейтинг-контролю

Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются) и по результатам зачета.

Рейтинг 1 (Темы 1-3)

Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1-3. Лабораторные работы (4)

30 баллов, из них 10 –текущая работа, 10- посещаемость, 10- контрольная работа. 10-ая неделя

Теоретические вопросы для 1 контрольной точки

- 1.Теплоемкость сегнетоэлектриков.
- 2.Теплопроводность сегнетоэлектрических кристаллов.
3. Аномалии тепловых свойств сегнетоэлектриков в районе фазового перехода и низких температур.
- 4.Поглощение ультразвука и внутреннее трение в сегнетоэлектриках
- 5.Электромеханические свойства сегнетоэлектриков, не обладающих пьезоэффектом в параэлектрической фазе.
6. Электромеханические свойства сегнетоэлектриков с пьезоэффектом в параэлектрической фазе.

Рейтинг 2.

Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 4-5.

Лабораторные работы (4)

30 баллов, из них 10 –текущая работа, 10- посещаемость, 10- контрольная работа.

Теоретические вопросы для 2 контрольной точки

1. Первичный и вторичный пирозлектрический эффекты.
2. Термодинамическое описание пирозлектрического эффекта в монокристаллическом сегнетоэлектрике.
3. Влияние доменной структуры и электрического поля на пирозлектрические свойства сегнетоэлектриков.
4. Пирозлектрические свойства приповерхностных слоев сегнетоэлектриков.
5. Электрокалорический эффект.
6. Практическое использование этих эффектов.
7. Общие сведения.
8. Линейный и квадратичный ЭОЭ.
9. Истинный и ложный электрооптические эффекты
10. Спонтанный и индуцированный электрическим полем ЭОЭ в сегнетоэлектриках.
11. Экспериментальные методы определения электрооптических коэффициентов

Критерии: работа на каждом практическом занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

VII. Материально-техническое обеспечение

Учебно-научная лаборатория физики диэлектриков,	1. Экран настенный ScreenMedia 153*203 2. Ноутбук Samsung R 510	Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus Acrobat Reader DC - бесплатно
---	---	--

<p>пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков-полупроводников № 35 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,2 200 ANSI Lm, 4. Комплект учебной мебели на 24 посадочных мест 5. Вольтметр Щ 1516 6. Вольтметр В-7-26 7. Вольтметр В-3-39 8. Генератор ГЗ-109 9. Магазин сопротивлений Р4830 10. Мост Р524 11. Мост Р-571 12. Измеритель В5-509 13. Микротвердомер ПМТ-3 14. Осциллограф С-1-65 15. Вольтметр В-3-42 16. Усилитель У4-28 17. Генератор ГЗ-34 18. Прибор Е7-11 19. Генератор ГЗ-102 20. Генератор Г-4-158 21. Частотомер ЧЗ-34 22. Вольтметр В-3-38 (2 шт) 23. Прибор КМС-6 24. Вольтметр В-7-27 25. Печь СУОП044 26. Источник питания Б-5-50 27. Измеритель Х1-38 28. Измеритель разности фаз Ф2-16 29. Прибор Picoammeter 6485 30. Пробник напряжения до 2500 В 31. Измеритель фаз Е-4-11 32. Термостат ИТИ 33. Прибор Х1-46 34. Выпрямитель ТЕС 35. Осциллограф С-1-68 36. Усилитель У5-11 37. Микроскоп 7М-9 	<p>Google Chrome – бесплатно</p>
<p>Учебно-научная лаборатория физики сегнето – и пьезоэлектриков № 45 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Компьютерный измерительный комплекс Cel 1.2/256Mb/Монитор Rover Scan 115GS"/плата сбора данных интегрированная ЛА-н150-14РСІ 2. Компьютер (монитор Philips 206VL, Intel Pen CPU G840/ 2x2048 Mb/ HDD 500 Gb/клав (2 шт) 3. Принтер Xerox Phaser 3150 4. Компьютер iRU Corp 510 I5- 	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus Kaspersky Endpoint Security для Windows Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно Unreal Commander - бесплатно Почта Outlook – бесплатно Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/М41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн</p>

	<p>2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5"(3 шт)</p> <p>5. Микроскоп МВДС</p> <p>6. Усилитель У4-28</p> <p>7. Мост ВМ-509</p> <p>8. Усилитель У5-11 (2 шт)</p> <p>9. Мост Е-7-4</p> <p>10. Измеритель ИМО-3 (2 шт)</p> <p>11. Усилитель У3-33</p> <p>12. Частотометр</p> <p>13. Источник питания (2 шт)</p> <p>14. Вольтметр (2 шт)</p> <p>15. Милливольтметр</p> <p>16. Вольтметр В-3-38</p> <p>17. Выпрямитель ТЕС</p> <p>18. Измеритель разности фаз Ф2-16</p> <p>19. Измеритель Е-7</p> <p>20. Осцилограф С-1 (6 шт)</p> <p>21. Ультротермо УТО</p> <p>22. Термостат У-4</p> <p>23. Генератор ГЗ-112/1</p> <p>24. Генератор ГЗ-33</p> <p>25. Генератор ГЗ-112 (2 шт)</p> <p>26. Генератор ГЗ-36</p> <p>27. Усилитель У2-8</p>	<p>Трейд»; Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011</p>
--	---	---

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			