Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 21.07.2025 15:50:26
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП

_____ Е.М. Семенова

«24» _____ июня _____ 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика магнитных материалов

Закреплена за кафедрой:	**Физики конденсированного состояния**
Направление подготовки:	**03.03.02 Физика**
Направленность (профиль):	**Физика, технологии и компьютерное моделирование функциональных материалов**
Квалификация:	**Бакалавр**
Форма обучения:	**очная**
Семестр:	**6**

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Семенова Елена Михайловна

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов знаний о факторах, влияющих на формирование гистерезисных свойств кристаллических магнитомягких и магнитотвердых материалов, которые определяются особенностями их структурного состояния, технологическими условиями их получения, что в свою очередь определяет особенности процессов намагничивания, перемагничивания и механизмы формирования коэрцитивной силы. Дисциплина направлена на формирование у обучающихся способности свободно ориентироваться в многообразии современных магнитных материалов и использовать их в технических устройствах, а также разрабатывать новые магнитные материалы с заданными свойствами.

Задачи :

1. Получение знаний об основных классах современных магнитных материалов и особенностях их практического применения;
2. Понимание взаимосвязи гистерезисных процессов в реальных магнетиках с особенностями их структурного состояния;
3. Формирование общих представлений о кристаллической структуре и основных типах дефектов кристаллических решеток, а также о процессах, происходящих с дефектами под влиянием внешних воздействий и воздействии этих процессов на основные магнитные свойства материалов;
4. Приобретение опыта анализа физических явлений и процессов в области магнитных материалов и подготовки отчета по теме исследования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Физика конденсированного состояния вещества
Электричество и магнетизм
Дифференциальные уравнения
Физический практикум по электричеству и магнетизму
Кристаллография

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Научно-исследовательская работа
Нанотехнологии в физике конденсированного состояния
Микромагнетизм
Доменная структура магнетиков

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	4 ЗЕТ
Часов по учебному плану	144
в том числе:	
самостоятельная работа	51
часов на контроль	27

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-3.1: Осуществляет анализ структуры материалов

ПК-3.2: Оценивает влияние технологических факторов типовых режимов термической и химической обработки на свойства и структуру материалов

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	6
курсовые работы	6

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

№	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Сем.	Часов	Примечание
	Раздел 1. Введение				
1.1	Применение магнитных материалов в различных отраслях техники.	Лек	6	2	
1.2	Самостоятельная работа с учебной и научной литературой по теме "Применение магнитных материалов"	Ср	6	2	
	Раздел 2. Основные характеристики магнитных материалов				
2.1	Кривая намагничивания. Намагниченность насыщения, индукция, магнитная проницаемость, восприимчивость. Виды магнитной проницаемости и их определение. Петля магнитного гистерезиса. Основные параметры петли магнитного гистерезиса. Предельная и частные петли магнитного гистерезиса, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса	Лек	6	4	
2.2	Выполнение практических заданий по анализу кривых намагничивания и определению параметров петель гистерезиса магнитных материалов.	Пр	6	4	
2.3	Выполнение самостоятельного задания по анализу гистерезисных характеристики магнитных материалов.	Ср	6	4	
	Раздел 3. Основные типы взаимодействий в магнетиках				

3.1	Основные типы взаимодействий в магнитных материалах, ответственные за формирование их свойств: обменное, магнитокристаллическое, магнитоупругое, магнитостатическое. Основные факторы, влияющие на магнитные и электрические свойства магнитных материалов: химический состав, кристаллическая структура, атомное упорядочение, дефекты кристаллической решетки. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные магнитные свойства.	Лек	6	4	
3.2	Решение практических задач по теме лекции	Пр	6	4	
3.3	Самостоятельная работа с учебной и научной литературой. Конспектирование и подготовка коротких сообщений по теме.	Ср	6	6	
	Раздел 4. Характеристики постоянных магнитов				
4.1	Энергия постоянного магнита. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения (BH)max и его использование для оценки энергии магнитного материала. Рабочая точка постоянного магнита. Способы получения размагниченного состояния.	Лек	6	2	
4.2	Вычисление характеристик постоянных магнитов на основе данных магнитных измерений.	Пр	6	4	
4.3	Анализ и систематизация литературных данных о характеристиках различных типов постоянных магнитов	Ср	6	6	
	Раздел 5. Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях				
5.1	Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость. Физический смысл составляющих магнитной проницаемости.	Лек	6	2	
5.2	Выполнение практических заданий по анализу магнитных измерений в переменных магнитных полях	Пр	6	2	
5.3	Применение магнитных материалов в переменных магнитных полях	Ср	6	4	
	Раздел 6. Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы				
6.1	Физические основы их классификации. Предварительные сведения об основных группах магнитных материалов.	Лек	6	2	
6.2	Классификация магнитных материалов	Пр	6	2	

6.3	Классификация магнитных материалов: магнитомягкие и магнитотвердые материалы	Ср	6	0	
	Раздел 7. Магнитные материалы с наибольшей намагниченностью насыщения				
7.1	Железо, железокобальтовые сплавы. Химический состав. Кристаллическая структура. Основные магнитные свойства, влияние примесей на ход кривой намагничивания, индукцию, электросопротивление. Перспективы повышения качества.	Лек	6	2	
7.2	Самостоятельная работа по теме занятия	Ср	6	4	
	Раздел 8. Высокопроницаемые магнитные материалы				
8.1	Высокопроницаемые магнитные материалы с малыми потерями при перемагничивании с частотой 50 Гц (кремнистое железо). Химический состав, Влияние содержания кремния на основные магнитные свойства. Кристаллическая структура, кристаллическая текстура. Влияние субструктуры и пластической деформации на коэрцитивную силу. Технология изготовления кремнистого железа. Термическая обработка и влияние ее режимов на магнитные характеристики. Термомагнитная обработка. Особенности доменной структуры. Классификация сталей по ГОСТ и основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.	Лек	6	2	
8.2	Самостоятельная работа по теме занятия	Ср	6	4	
	Раздел 9. Магнитные материалы с пониженными потерями энергии при перемагничивании				
9.1	Магнитные материалы с пониженными потерями энергии при перемагничивании в полях звуковых частот (400-20000 Гц). Влияние химического состава на магнитные свойства, зависимость магнитных потерь и коэрцитивной силы от толщины листа. Потери на гистерезис, вихревые токи, дополнительные потери, способы разделения потерь. Перспективы повышения качества.	Лек	6	2	
9.2	Применение магнитных материалов с пониженными потерями энергии при перемагничивании	Пр	6	2	

9.3	Анализ и систематизация литературных данных о магнитных материалах с пониженными потерями энергии при перемагничивании	Ср	6	2	
	Раздел 10. Магнитострикционные материалы				
10.1	Магнитострикционные (пьезомагнитные) материалы. Применение, основные характеристики. Особенности технологического получения. Перспективы развития	Лек	6	2	
10.2	Применение магнитострикционных материалов	Пр	6	2	
10.3	Самостоятельна работа	Ср	6	4	
	Раздел 11. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса				
11.1	Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса и большой скоростью перемагничивания (ППГ-ферриты, тонкие магнитные пленки). Основные магнитные и технические характеристики. Получение тонких магнитных пленок. Особенности их доменной структуры, магнитной анизотропии.	Лек	6	2	
11.2	Анализ процессов перемагничивания магнитных материалов с прямоугольной петлей гистерезиса	Пр	6	4	
11.3	Самостоятельная работа	Ср	6	4	
	Раздел 12. Высококоэрцитивные магнитные материалы				
12.1	Магнитотвердые материалы с повышенными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии. Химический состав, основные магнитные свойства, гетерогенная структура – причина достижения высококоэрцитивного состояния. Маркировка по ГОСТ.	Лек	6	2	
12.2	Анализ процессов перемагничивания магнитотвердым материалам	Пр	6	4	
12.3	Выполнение индивидуального задания по анализу параметров петель гистерезиса высококоэрцитивных материалов	Ср	6	11	
	Раздел 13. Подготовка к экзамену				
13.1	Подготовка к экзамену	Экзамен	6	27	

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
2	Дискуссионные технологии (форум, симпозиум, дебаты, аквариумная дискуссия, панельная дискуссия, круглый стол, фасилитированная и т.д.)

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Типовые задания

1. Сравнить потери на вихревые токи в листе электротехнической стали с 3% Si толщиной d=0,35 мм при значении индукции 1,5 Тл и различных частотах перемагничивающего поля 50, 100, 400 Гц. Сделать вывод о зависимости потерь от частоты перемагничивания.

2. Вычислить глубину проникновения переменного магнитного поля в аморфную ленту сплава 24 КСР, магнитная проницаемость которой 1500, удельное сопротивление 1, 25 мкОм м при частоте 1000 Гц.

3. Вычислить потери на вихревые токи при перемагничивании железной проволоки с радиусом r=1 мм и удельным сопротивлением 107 Ом м. Проволока перемагничивается в поле с частотой 50 Гц.

4. Определить по марке материала его химический состав (принадлежность к одной из групп) и основные магнитные характеристики: 3411, 1211, 2412, 1212, 50 НХС, 79 НМ, Н88М9, 1000 НЦ, 600 НЦ, 4000 НН, 2000 НН, 150 ВЧ, 2,1 ВТ, 150 КГ, ВЧ 32, ЕХ5К5, ЕХ9К15М2, ЮНД4, ЮНДК18, КС37.

5. По кривым намагничивания железа построить зависимости магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля.

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Типовые задания для оценки уровня формирования компетенций

Задание: дайте развернутый ответ на вопрос с примерами и обоснованием. Список вопросов:

- Постоянные магниты на основе каких сплавов и почему наиболее пригодны для высокотемпературных применений?
- Какие способы повышения максимального энергетического произведения (BH)max используются в современном производстве постоянных магнитов?
- Какие технологические решения при производстве порошковых постоянных магнитов направлены на повышение качества их текстуры?
- Какие программные решения в области анализа структуры материалов позволяют производить статистический анализ большого количества данных?
- Какие программные продукты позволяют осуществлять моделирование магнитных систем на основе постоянных магнитов?
- Получив экспериментальные данные в форме таблиц, графиков и изображений микро- и(или) наноструктуры сделайте вывод о типе магнитного материала.
- Получив объект исследования и цель, спланировать эксперимент (серию экспериментов) с учетом имеющейся экспериментальной базы для получения информации о материале.

8.3. Требования к рейтинг-контролю

1 Модуль

Выполнение самостоятельных заданий и решение задач на практике - 20 баллов

Контрольная работа - 10 баллов

2 Модуль

Выполнение самостоятельных заданий и решение задач на практике - 20 баллов

Контрольная работа - 10 баллов

Экзамен - 40 баллов

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рекомендуемая литература

Основная

Шифр	Литература
Л.1.1	Гречишкин, Иванова А. И., Зигерт, Малышкина, Сошин, Магнитные свойства и доменная структура сплавов Гейслера, Тверь: Тверской государственный университет, 2021, ISBN: , URL: http://megapro.tversu.ru/megaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=5467135
Л.1.2	Мирошкин В. П., Гареев К. Г., Магнитные материалы и приборы. Практикум, Санкт-Петербург: Лань, 2024, ISBN: 978-5-507-48499-7, URL: https://e.lanbook.com/book/385799
Л.1.3	Демидов Е. С., Ежевский А. А., Карзанов В. В., Магнитные резонансы в твёрдых телах, Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/book/144710
Л.1.4	Гончар И. И., Крохин С. Н., Чушнякова М. В., Электрические и магнитные свойства веществ, Омск: ОмГУПС, 2017, ISBN: 978-5-949-41162-9, URL: https://e.lanbook.com/book/129156
Л.1.5	Гуфан, Гуфан, Физика магнитных явлений, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2020, ISBN: 978-5-9275-3552-1, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=415229
Л.1.6	Кудреватых, Волегов, Физика металлов. Редкоземельные металлы и их соединения, Москва: Юрайт, 2022, ISBN: 978-5-9916-9977-8, URL: https://urait.ru/bcode/492228

Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Mozilla Firefox
7	Origin 8.1 Sr2
8	Многофункциональный редактор ONLYOFFICE

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Лань»
6	ЭБС BOOK.ru
7	ЭБС ТвГУ

8	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
9	Репозитарий ТвГУ
10	Журналы American Institute of Physics (AIP)
11	Журналы издательства Taylor&Francis
12	БД Scopus
13	БД Web of Science
14	Ресурсы издательства Springer Nature
15	Архивы журналов издательства The Institute of Physics

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-40	комплект учебной мебели, вольтмет, экран настенный, контроллер, сканеры для вольтметра, двухфазные Lock-in усилители, компьютеры, установка "Мишень"
3-38	комплект учебной мебели, печь трубчатая, мониторы, проектор, фотомикроскоп, вакуумные посты, весы лабораторные, коммутатор, компьютеры, ИБП, видеокамеры, мультиметр, МФУ

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вопросы к экзамену

1. Кривая намагничивания. Намагниченность насыщения. Индукция, магнитная проницаемость, восприимчивость. Виды магнитной проницаемости и их определение.

2. Полупроводниковые высокопроницаемые магнитные материалы. Магнитомягкие ферриты. Химический состав, кристаллическая структура, особенности магнитной структуры. Особенности поведения намагниченности и электросопротивления в зависимости от температуры. Перспективы повышения качества.

3. Петля магнитного гистерезиса. Основные параметры петли гистерезиса. Предельная петля гистерезиса и частные петли, кривые возврата. Статическая и динамическая петли гистерезиса.

4. Магнитные материалы с наибольшей проницаемостью в слабых полях. Влияние химического состава на магнитные свойства, кристаллическую структуру, физические основы термомагнитной обработки, закалки, отжига. Основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.

5. Высокопроницаемые магнитные материалы с малыми потерями при перемагничивании с частотой 50 Гц (кремнистое железо). Химический состав, влияние содержания кремния на основные магнитные свойства. Кристаллическая структура, кристаллическая текстура. Влияние субструктуры и пластической деформации на коэрцитивную силу.

6. Энергия намагниченного тела. Графический способ определения максимального энергетического произведения (BH)max. Почему можно использовать величину (BH)max для оценки энергии магнитного материала. Чему

7. Магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса и большой скоростью перемагничивания (ППГ - ферриты, тонкие магнитные пленки). Получение тонких магнитных пленок. Особенности их доменной структуры, анизотропии.

8. Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях. Динамическая кривая намагничивания и петля гистерезиса. Магнитная проницаемость, физический смысл составляющих магнитной проницаемости.

9. Магнитомягкие материалы с пониженными потерями энергии при перемагничивании в полях звуковых частот (400-20000 Гц). Влияние химического состава на магнитные свойства, зависимость потерь на перемагничивание и коэрцитивной силы от толщины листа. Перспективы повышения качества.

10. Магнитомягкие и магнитотвердые магнитные материалы. Физические основы классификации.

11. Магнитострикционные (пьезомагнитные) материалы. Применение, основные характеристики. Перспективы развития.

12. Основные факторы, влияющие на магнитные и электрические свойства магнитных материалов: химический состав, кристаллическая структура, атомное упорядочение, дефекты кристаллической решетки. Структурно чувствительные и структурно нечувствительные магнитные свойства.

13. Технология изготовления кремнистого железа. Термическая обработка и влияние ее режимов на магнитные характеристики. Термомагнитная обработка. Особенности доменной структуры. Классификация сталей по ГОСТу и основные магнитные свойства. Перспективы повышения качества.

14. Магнитные материалы с наибольшей намагниченностью насыщения: железо, железокобальтовые сплавы. Химический состав. Кристаллическая структура. Основные магнитные свойства, влияние примесей на ход кривой намагничивания. Перспективы повышения качества.

15. Магнитные материалы с постоянством проницаемости в слабых полях (перминвары, изопермы). Материалы с резкой зависимостью проницаемости от температуры.

16. Магнитотвердые материалы с умеренными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии.

17. Магнитные материалы с ЦМД (ортоферриты, ферриты-гранаты, гексаферриты).

18. Физические условия высококоэрцитивного состояния.

19. Магнитные материалы типа РЗМ-Со. Особенности кристаллической структуры и магнитные свойства.

20. Магнитотвердые материалы с повышенными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии (материалы типа ЮНДК).

21. Магнитотвердые ферриты. Кристаллическая структура и основные магнитные характеристики.

22. Основные требования, предъявляемые к сплавам для постоянных магнитов. Классификация магнитотвердых материалов. Задачи физики высококоэрцитивного состояния.

23. Особенности технологии получения и магнитных характеристик сплавов на основе редкоземельных металлов и кобальта.

24. Магнитотвердые материалы с большим значением коэрцитивной силы и повышенной магнитной энергией (ферриты кобальта, стронция, бария, сплавы Pt-Co).

25. Особенности магнитных характеристик магнитотвердых материалов на основе сплавов Nd-Fe-B. Перспективы повышения качества.

26. Динамическая петля гистерезиса и кривая намагничивания. Способы их измерения.

27. Основные особенности свойств аморфных магнитных материалов по сравнению с кристаллическими материалами.

28. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные свойства магнитных материалов.

29. Основные виды магнитной проницаемости ферромагнетиков и их определение.

31. Физические основы записи и воспроизведения звука на магнитной ленте

30. Тонкие магнитные пленки. Особенности их магнитных свойств и основные способы их получения. Характерные особенности доменной структуры тонких пленок.