

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:29

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Элементы и устройства магнитоэлектроники

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 8

аудиторные занятия 48

самостоятельная работа 96

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	12	13	12	13
Лабораторные	12	13	12	13
Практические	24	13	24	13
Итого ауд.	48	39	48	39
Контактная работа	48	39	48	39
Сам. работа	96	105	96	105
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*кфмн, доцент, Бибиков Сергей Борисович*

Рабочая программа

**Элементы и устройства магнитоэлектроники**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра технологии материалов электроники**

Протокол от 29.06.2022 г., №10

Руководитель подразделения Костишин Владимир Григорьевич

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель - научить пониманию физических принципов работы, концепций выбора формы магнитного элемента и параметров магнитного материала для обеспечения требуемых параметров разрабатываемой магнитоэлектронной аппаратуры.
1.2	Задачи:
1.3	1. Раскрыть сущность резонансных процессов, протекающих в магнитном материале и указать пути воздействия на эти явления.
1.4	2. Сформировать представления об основных типах невзаимных магнитоэлектронных приборов и роли магнитных материалов в формировании их параметров.

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.10
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.2	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.3	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.4	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.5	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.6	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.7	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.8	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.9	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.10	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.11	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.12	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.13	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.14	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.15	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.16	Физика конденсированного состояния	
2.1.17	Безопасность жизнедеятельности	
2.1.18	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.19	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.20	Статистическая физика	
2.1.21	Электроника	
2.1.22	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.23	Методы математической физики	
2.1.24	Практическая кристаллография	
2.1.25	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.26	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.27	Физика	
2.1.28	Физическая химия	
2.1.29	Математика	
2.1.30	Органическая химия	
2.1.31	Химия	
2.1.32	Инженерная и компьютерная графика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

**ОПК-2:** Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области

**Знать:**

ОПК-2-31 Физические принципы работы ферритовых элементов и устройств магнитоэлектроники, техники СВЧ и владеть основными приемами расчетных оценок.
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Знать:</b>
УК-2-31 Значение качества материалов в разработке компонентной базы магнитоэлектроники.
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 Измерять электродинамические параметры ферритов на высоких и сверхвысоких частотах в зависимости от величины магнитного поля управления.
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Уметь:</b>
УК-2-У1 Оценивать влияние качества исходных материалов при разработке компонентной базы магнитоэлектроники с точки зрения устойчивости к воздействию внешних факторов.
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 Навыками подготовки исходных данных для выбора материала, типа конструкции и режимов эксплуатации изделий.
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Владеть:</b>
УК-2-В1 Методами оценки качества исходных материалов с точки зрения влияния на конечные свойства продукта при разработке компонентной базы магнитоэлектроники .

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Динамика спинового магнитного момента и доменной границы в ферритах</b>							
1.1	Тензор магнитной проницаемости в форме Полдера. Электромагнитная волна в феррите. Эффективные магнитные проницаемости. /Лек/	8	2		Л1.2 Э1			
1.2	Динамика движения доменной границы в переменном магнитном поле. Уравнение Деринга . Резонанс доменных границ, частотный интервал области магнитных потерь. /Лек/	8	2	УК-2-31	Л1.4 Л1.5 Э1			
1.3	Расчёт компонент тензора проницаемости частично намагниченного феррита (на ПЭВМ). /Пр/	8	2		Л1.4Л3.1			

1.4	Расчёт дисперсии магнитной проницаемости при резонансе доменных границ /Пр/	8	2	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.4Л3.1			
1.5	Уравнение движения намагниченности в неограниченной ферритовой среде. Собственные и вынужденные колебания. Прецессия намагниченности. /Лек/	8	2		Л1.7 Э1			
1.6	Ферромагнитный резонанс в феррите (моделирование на ПЭВМ). /Пр/	8	2	ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.7			
1.7	Изучение процессов намагничивания среды, распространения электромагнитного излучения в ферромагнитных материалах, Природы анизотропии магнитной проницаемости под воздействием внешних полей. /Ср/	8	35		Л1.1 Л1.2			
	<b>Раздел 2. Магнитные устройства сверхвысоких частот.</b>							
2.1	Магнитный спектр феррита. Область естественного ферромагнитного резонанса. Влияние технологических факторов и состава феррита на формирование его магнитного спектра. /Лек/	8	2		Л1.2 Л1.4 Э1			
2.2	Учет потерь энергии в уравнении Ландау-Лифшица. Ферромагнитный резонанс, ширина линии ФМР в поликристаллических и монокристаллических ферритах /Лек/	8	2	ОПК-2-31	Л1.1 Л1.7 Э1			
2.3	Расчёт параметров поля в прямоугольном волноводе. /Пр/	8	2	ОПК-2-У1	Л1.1			
2.4	Расчёт размагничивающего фактора формы феррита /Пр/	8	2		Л1.7Л3.1			
2.5	Зависимость удельных магнитных потерь в феррите от температуры химического состава и технологии спекания ферритовой керамики /Лаб/	8	2		Л1.3			
2.6	Зависимость параметров ферромагнитного резонанса в ферритах от химического состава и плотности. /Лаб/	8	2	УК-2-У1 УК-2-В1	Л1.3Л3.1			

2.7	Исследование влияния геометрии образцов ферритовых материалов на радиотехнические характеристики. /Лаб/	8	2	ОПК-2-У1	Л1.1Л3.1			
2.8	Магнитные устройства СВЧ техники. Принципы работы и расчёт основных характеристик типовых устройств магнитоэлектроники - вентилях, циркуляторов. /Ср/	8	35		Л1.1			
	<b>Раздел 3. Физика и конструкции радиочастотных магнитных компонентов</b>							
3.1	Ферритовые вентили и циркуляторы. Циркулятор типа У. Требования к ферритам для элементов вентилях и циркуляторов. Выбор частотного диапазона использования феррита. /Лек/	8	2		Л1.4 Л1.6 Э1			
3.2	Радиопоглощающие материалы и устройства. /Лек/	8	1	УК-2-31	Л3.1 Э1			
3.3	Измерение коэффициента отражения и поглощения в феррите. /Лаб/	8	2		Л1.1Л3.1			
3.4	Расчет параметров высокочастотных линий передачи с диэлектриком и ферритом. /Пр/	8	2		Л1.1			
3.5	Расчет радиофизических коэффициентов поликристаллических ферритовых образцов для коаксиального тракта. /Пр/	8	1		Л1.1 Л1.3			
3.6	Измерение спектра комплексной магнитной проницаемости феррита. /Лаб/	8	2	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Л3.1			
3.7	Измерение дисперсии диэлектрической и магнитной проницаемостей в ВЧ -СВЧ диапазоне для образцов магнитодиэлектриков. /Лаб/	8	2		Л1.1 Л1.4			
3.8	Сравнительные исследование радиоэкранирующих свойств магнитных материалов на основе специальных сплавов и ферритовой керамики. /Лаб/	8	1		Л1.3			
3.9	Расчёт радиофизических параметров ферритовых керамических материалов и магнитодиэлектриков на основе исходных магнитных свойств, диэлектрической проницаемости и потерь. /Ср/	8	35		Л1.1			

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Зачёт с оценкой	ОПК-2-31;УК-2-31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение и свойства тензора магнитной проницаемости.</li> <li>2. Частотные зависимости действительной и мнимой частей магнитной проницаемости. Особенности и физические ограничения.</li> <li>3. Типы резонансов электромагнитного излучения в ферромагнитных материалах в полях малой напряжённости.</li> <li>4. Что такое постоянная распространения в материалах? Зависимость от магнитной проницаемости и потерь.</li> <li>5. Рабочий частотный диапазон волноводного тракта на примере прямоугольного волновода. Граничная частота.</li> <li>6. Структура поля основной моды прямоугольного волновода.</li> <li>7. Понятие волноводных мод в направляющих структурах на примере прямоугольного волновода.</li> <li>8. Оценка влияния формы феррита и размеров доменов на макроскопические параметры образцов материалов.</li> <li>9. Зависимость радиотехнических параметров плоскопараллельных образцов материалов с обобщённо-диэлектрическими и магнитными потерями от геометрии (толщины).</li> <li>10. Принцип работы СВЧ устройств типа циркуляторов и вентилях с элементами ферритовой керамики.</li> <li>11. Принцип и режимы работы измерительной линии.</li> <li>12. Как влияют материальные параметры среды на условия распространения волны в СВЧ-тракте?</li> </ol>

### 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	ПР №1		Расчёт компонент тензора проницаемости частично намагниченного феррита.
P2	ПР №2	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1	Расчёт дисперсии магнитной проницаемости при резонансе доменных границ
P3	ПР №3		Ферромагнитный резонанс в феррите
P4	ПР №4	ОПК-2-У1	Расчёт параметров поля в прямоугольном волноводе.
P5	ПР №5		Расчёт размагничивающего фактора формы феррита
P6	ПР №6		Расчет параметров высокочастотных линий передачи с диэлектриком и ферритом.
P7	ПР №7		Расчет радиофизических коэффициентов поликристаллических ферритовых образцов для коаксиального тракта.
P8	ЛР №1		Зависимость удельных магнитных потерь в феррите от температуры химического состава и технологии спекания ферритовой керамики
P9	ЛР №2	УК-2-У1;УК-2-В1	Зависимость параметров ферромагнитного резонанса в ферритах от химического состава и плотности.
P10	ЛР №3	ОПК-2-У1	Исследование влияния геометрии образцов ферритовых материалов на радиотехнические характеристики.
P11	ЛР №4		Измерение коэффициента отражения и поглощения в феррите.
P12	ЛР №5	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1	Измерение спектра комплексной магнитной проницаемости феррита.

P13	ЛР №6		Измерение дисперсии диэлектрической и магнитной проницаемостей в ВЧ -СВЧ диапазоне для образцов магнитодиэлектриков.
P14	ЛР №7		Сравнительные исследование радиоэкранирующих свойств магнитных материалов на основе специальных сплавов и ферритовой керамики.
P15	Самостоятельная работа №1		Изучение процессов намагничивания среды, распространения электромагнитного излучения в ферромагнитных материалах, Природы анизотропии магнитной проницаемости под воздействием внешних полей.
P16	Самостоятельная работа №2		Магнитные устройства СВЧ техники. Принципы работы и расчёт основных характеристик типовых устройств
P17	Самостоятельная работа №3		Расчёт радиофизических параметров ферритовых керамических материалов и магнитодиэлектриков на основе исходных магнитных свойств, диэлектрической проницаемости и потерь.

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен не предусмотрен.

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Оценка (дифференцированный зачёт) выставляется как средняя по результатам работы в семестре и определяется количеством правильных ответов на вопросы в ходе выполнения практических работ и контроля выполнения самостоятельных заданий. Оценка - количество правильных, аргументированных ответов: "отл." - более 90%, "хор." - 60%...90%, "удовл." - 33%...59%, неудовл. - менее 33%

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

#### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Никольский В. В.	Электродинамика и распространение радиоволн	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1973
Л1.2	Шостак А. С.	Электродинамика сплошных сред: курс лекций: курс лекций	Электронная библиотека	Томск: ТУСУП, 2012
Л1.3	Летюк Л. М., Костишин В. Г., Гончар А. В.	Технология ферритовых материалов магнитоэлектроники	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2005
Л1.4	Канева И. И., Крутогин Д. Г., Летюк Л. М., Летюк Л. М.	Материалы и компоненты магнитоэлектроники: учеб. пособие для практ. занятий студ. спец. 20.02	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1990
Л1.5	Летюк Л. М., Морченко А. Т., Захаров Н. А.	Материаловедение ферритов. Разделы: Процессы выращивания эпитаксиальных ферритовых пленок. Подложечные материалы, их особенности и области применения: Учеб. пособие для студ. спец. 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
Л1.6	Крутогин Д. Г.	Материалы и элементы электронной техники: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2006
Л1.7	Крутогин Д. Г.	Элементы и устройства магнитоэлектроники: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2008

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
--	---------------------	----------	------------	-------------------



	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.1	Канева И. И., Крутогин Д. Г., Андреев В. Г., Летюк Л. М., Летюк Л. М.	Ферритовые материалы и компоненты магнитоэлектроники: практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2005

#### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Элементы и устройства магнитоэлектроники	Zoom
----	--	------

#### 6.3 Перечень программного обеспечения

#### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Компьютерный класс	Учебная аудитория для проведения практических занятий:	экран, проектор, доска, комплект учебной мебели на 30 посадочных мест, персональные компьютеры, доступ к ЭИОС университета LMS Canvas, лицензионные программы MS Teams, MS Office
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-435	Лаборатория	спектральный эллипсометрический комплекс, векторный анализатор электрических цепей, петлемер индукционный, смеситель, магнитометр АТЕ-8702, комплект учебной мебели на 8 посадочных мест
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При конспектировании лекций в конспект следует заносить всё, что рекомендует преподаватель. Изучение и отработка прослушанных лекций без промедления значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала. Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями в форме подготовки к очередному аудиторному занятию. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории. При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой вуза, а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой.