

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и  
электроники



/В.А. Небольсин /

"26" марта 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**дисциплины (модуля)**

«Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе»

**Направление подготовки (специальность) 16.04.01 Техническая физика**

**Профиль (специализация) Прикладная физика твердого тела**

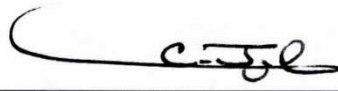
**Квалификация выпускника Магистр**

**Нормативный период обучения 2 года**

**Форма обучения Очная**

**Год начала подготовки 2019 г.**

Автор программы



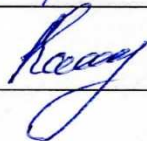
/Гриднев С.А./

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела



/Костюченко А.В./

Руководитель ОПОП



/Калинин Ю.Е./

**Воронеж 2019**

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Цель изучения дисциплины: теоретически и практически подготовить будущих специалистов в области физики диэлектриков и полярных нелинейных диэлектрических материалов к знанию закономерностей, определяющих влияние электрической поляризации материалов на их физические свойства, к освоению методов получения материалов, способов измерения их свойств и сформировать у студента универсальные, предметно-специализированные компетенции, способствующие уверенной ориентации будущих магистров в современном физическом материаловедении.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Формирование у студентов знаний о структурных особенностях и методах получения полярных диэлектриков, о физических механизмах, обуславливающих появление новых свойств у спонтанно поляризованных материалов, о физических свойствах, проявляемых полярными диэлектрическими материалами, и об основных направлениях применения полярных диэлектриков в различных областях электронной техники.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе» относится к дисциплинам вариативной части блока Б.1 учебного плана.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе» направлен на формирование следующих компетенций:

ОК-5 – готов действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения.

ПК-5 - способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.

ПК-9 – готов принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по направленности (профилю) программы магистратуры, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОК-5	Знать требования нормативных правовых актов, определяющих принятие решений при разработке новых материалов электронной техники с учетом требований безопасности и экологичности;
	Способность проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности;
	Способность вскрывать сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, проводить их качественный и количественный анализ.
ПК-5	Уметь осуществлять выбор компонент и выбирать режимы технологического процесса для получения требуемых характеристик у формируемого полярного диэлектрика;
	Объяснять основные наблюдаемые эффекты в полярных диэлектрических материалах с позиции фундаментальных физических взаимодействий;
	Владеть навыками анализа и систематизации новой информации, касающейся различных аспектов полярных диэлектриков.
ПК-9	Знать требования, предъявляемые к полярным диэлектрикам, исходя из особенностей их эксплуатации в различных системах и приборах электронной техники;
	Уметь критически анализировать современные проблемы физического материаловедения, проводить научно-техническую экспертизу новых систем на основе полярных диэлектриков;
	Принимать непосредственное участие в научной, учебной и учебно-методической работе кафедры по направлению программы магистратуры.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры				
		1	2	3	4	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>				
В том числе:						
Лекции	36	36				
Практические занятия (ПЗ)	18	18				
Лабораторные работы (ЛР)	-	-				
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>90</b>	<b>90</b>				
Курсовая работа	+	+				
Контроль	36	36				
Вид промежуточной аттестации – зачет	+	+				
<b>Общая трудоемкость</b>	час зач. ед.	180 5	180 5			

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

##### Очная форма обучения

№ п.п.	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц.	Прак. зан.	Контроль	СРС	Всего час.
1	Введение.	История открытия сегнетоэлектриков. Значение и задачи курса «Физика полярных диэлектриков». Электрический момент как характеристика распределения зарядов в структуре кристаллов. Полярные, неполярные и полярно-нейтральные структуры. Индуцированная и спонтанная поляризация. Пироэлектрики. Сегнетоэлектрики. Симметрия кристаллов и спонтанная поляризация. Принцип Неймана.	4	2	4	10	20

2	Поляризация диэлектриков. Основные классы полярных диэлектриков	Полярные классы кристаллов. Спонтанная поляризация. Условие существования спонтанной поляризации в дипольных кристаллах.	4	2	4	10	20
3	Особенности свойств сегнетоэлектриков	Диэлектрическая проницаемость свободного и зажатого кристалла. Особенности диэлектрической проницаемости сегнетоэлектриков в сильных и слабых электрических полях. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости, спонтанной поляризации и коэрцитивного поля модельных сегнетоэлектриков: сегнетовой соли, триглицинсульфата, дигидрофосфата калия, титаната бария. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейсса. Собственные и несобственные сегнетоэлектрики.	4	2	4	10	20
4	Теории возникновения сегнетоэлектричества в диэлектриках	Особенности термодинамического описания фазовых переходов первого и второго рода. Условие существования спонтанной поляризации. Температурная эволюция кривых термодинамического потенциала в окрестности точки Кюри. Законы «двойки» и «четверки» для температурной зависимости диэлектрической проницаемости.	4	2	4	10	20
5	Влияние электрического поля на свойства сегнетоэлектриков	Закон Кюри-Вейсса для температурной зависимости диэлектрической проницаемости вблизи точки фазового перехода. Смещение точки Кюри под действием постоянного электрического поля. Закон Видера.	4	2	4	10	20
6	Доменная структура сегнетоэлектриков	Причина разбиения кристалла на домены. Равновесная ширина домена. Симметрия кристалла и геометрия доменов. Равновесная форма домена. Границы между доменами. Структура доменных границ. Принципы упаковки доменов в реальных сегнетоэлектрических кристаллах.	4	2	4	10	20
7	Динамика доменов	Динамика доменов. Прямые и интегральные методы изучения переполяризации сегнетоэлектриков. Модель Миллера и Вайнрайха. Импульсная переполяризация. Схема Мерца. Различные стадии процесса переполяризации.	4	2	4	10	20
8	Электропроводность полярных диэлектриков	Позисторный эффект в сегнетоэлектриках – полупроводниках. Модель Хейванга-Джонкера. Сопоставление с экспериментом. Зависимость величины температурного коэффициента сопротивления от концентрации легирующей примеси, технологии получения, газовой атмосферы и др. Природа ми-	4	2	4	10	20

		нимума в концентрационной зависимости электросопротивления от концентрации примеси.					
9	Внутреннее трение в сегнетоэлектриках	Аномальное поглощение звука вблизи точки Кюри. Механизм Ландау-Халатникова. Влияние доменной структуры, пространственно неоднородных флуктуаций поляризации, дефектов кристаллической решетки на аномальное поглощение звука в области фазового перехода.	4	2	4	10	20
		<b>Итого:</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>90</b>	<b>180</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта во 2 семестре.

### 6.1. Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

Поставленная при выполнении курсовой работы цель достигается решением следующих задач:

- закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами при освоении теоретического материала дисциплины «Физика полярных диэлектриков» в форме аудиторных занятий: лекций и практик;
- приобретение опыта самостоятельной работы с научной, технической, справочной, патентной литературой, ГОСТами и т.д.;
- практическое применение знаний, полученных при изучении общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин, использование средств вычислительной техники, методов расчета, а также умение анализировать результаты исследований новых материалов с позиций совершенствования элементов и приборов электронной техники;
- выработка и закрепление навыков построения цепи логических рассуждений в поисковых ситуациях, а также грамотного и доказательного изложения результатов работы, их отстаивание в дискуссиях и общественных выступлениях.

## **6.2. Тематика курсовых работ**

Курсовые работы по дисциплине «Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе» охватывают широкий круг направлений, по которым проводятся исследования в современном физическом материаловедении. На основе анализа литературных источников (в основном, статей в научных журналах) студент должен установить цепочку связей "состав - структура - свойства" в одном из новых материалов, обладающих полярными свойствами, найти условия, при которых обеспечиваются экстремальные значения одного или нескольких его физических свойств, и основные применения материала в технике.

В курсовой работе рекомендуется использовать новейшие программные продукты (текстовые, вычислительные и графические редакторы) для выполнения расчетно-теоретической части работы и ее оформления в пояснительной записке. Работу желательно целиком выполнить на персональном компьютере с применением текстового редактора Word и встроенного в него редактора формул.

Тематика курсовых работ формируется из составленного лектором банка последних достижений физического материаловедения в области физики полярных диэлектриков и родственных материалов. Студент выбирает тему самостоятельно, однако при выборе темы учитывается степень подготовленности студента, его участие в научно-исследовательских работах кафедры и лабораторий.

## **6.3. Примерный перечень тем курсовых работ:**

1. Особенности детерминированного хаоса в сегнетоэлектриках и его связь с доменной структурой.
2. Однофазные магнитоэлектрические мультиферроики и их свойства.
3. Релаксорное состояние в сегнетоэлектрических твердых растворах.
4. Свойства аморфных материалов на основе полярных диэлектриков.
5. Влияние сегнетоэластической доменной структуры на свойства высокотемпературных сверхпроводников.
6. Способы повышения магнитоэлектрического отклика в микрокомпозитах и нанокompозитах.
7. Характерные свойства дипольных стекол в кристаллических твердых растворах сегнетоэлектрик - антисегнетоэлектрик с конкурирующим взаимодействием.
8. Способы повышения магнитоэлектрического отклика в микрокомпозитах и нанокompозитах.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Этап промежуточного контроля

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются во 2 семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

#### 7.1.1 Примерный перечень заданий к промежуточному контролю

##### Тема 1. Дипольные моменты и структура полярных кристаллов

	Вопрос	Варианты ответа
1	Что является количественной мерой распределения зарядов в структуре кристалла?	1) поляризация 2) функция распределения 3) электрический момент 4) электропроводность
2	На какие группы делятся все кристаллы по наличию или отсутствию в них полярных направлений?	1) неполярные 2) полярно-нейтральные 3) полярные 4) дипольные
3	Что принимается за единицу измерения дипольного момента в системе СИ?	1) Кл/м 2) Кл/м <sup>2</sup> 3) Кл·м 4) Кл·м <sup>2</sup>
4	Как называют кристаллы, в которых центры тяжести всех положительных и отрицательных зарядов совпадают?	1) бездипольные 2) дипольные 3) асимметричные 4) центросимметричные
5	Как отобрать те классы кристаллов, которые обладают определенным физическим свойством?	1) определить симметрию кристалла 2) использовать принцип Неймана 3) использовать принцип Кюри 4) знать симметрию свойства
6	Сколько классов кристаллов относится к неполярным кристаллам?	1) 1 2) 11 3) 10 4) 20
7	Сколько классов кристаллов относится к полярным кристаллам?	1) 20 2) 11 3) 10 4) 15



8	Переключается ли поляризация в пироэлектриках под действием внешнего электрического поля?	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) не переключается</li> <li>2) переключается</li> <li>3) частично переключается</li> <li>4) зависит от кристалла</li> </ul>
9	Электрострикция является эффектом, который зависит от электрического поля...	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) линейно</li> <li>2) квадратично</li> <li>3) не зависит от поля</li> <li>4) экспоненциально</li> </ul>
10	Пьезоэффект является эффектом, который зависит от электрического поля...	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) линейно</li> <li>2) квадратично</li> <li>3) не зависит от поля</li> <li>4) экспоненциально</li> </ul>
11	Необходимое и достаточное условие, чтобы кристалл был сегнетоэлектриком	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) принадлежать к 10 полярным классам</li> <li>2) обладать структурным фазовым переходом</li> <li>3) переключаться во внешнем электрическом поле</li> <li>4) обладать высокой диэлектрической проницаемостью</li> </ul>
12	Размерность спонтанной электрической поляризации	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Кл/м</li> <li>2) Кл/м<sup>2</sup></li> <li>3) Кл·м</li> <li>4) Кл·м<sup>2</sup></li> </ul>
13	Количественная мера спонтанной поляризации	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) объемный заряд</li> <li>2) поверхностная плотность заряда</li> <li>3) дипольный момент</li> <li>4) плотность состояний</li> </ul>
14	Спонтанная поляризация в дипольных кристаллах возникает только в случае...	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) гармонических колебаний</li> <li>2) ангармонических колебаний</li> <li>3) резонансных колебаний</li> <li>4) собственных колебаний</li> </ul>
15	Какая из классификаций сегнетоэлектриков наиболее полная?	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) по числу направлений <math>P_s</math></li> <li>2) кристаллохимическая</li> <li>3) кристаллофизическая</li> <li>4) по характеру фазового перехода</li> </ul>
16	Если кристалл содержит две подрешетки, спонтанно поляризованные в противоположных направлениях, то он является...	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) сегнетоэлектриком</li> <li>2) антисегнетоэлектриком</li> <li>3) сегнетиэлектриком</li> <li>4) параэлектриком</li> </ul>
17	Сегнетоэластик – это кристалл, являющийся механическим аналогом ...	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) ферромагнетика</li> <li>2) антиферромагнетика</li> <li>3) сегнетоэлектрика</li> <li>4) парамагнетика</li> </ul>

18	Сегнетомагнетик – это кристалл, который является одновременно...	1) сегнетоэлектриком и ферромагнетиком 2) сегнетоэлектриком и сегнетоэластиком 3) ферромагнетиком и сегнетоэластиком 4) сегнетоэлектриком и антиферромагнетиком
19	Ферроик – это кристалл, в котором спонтанно возникает либо поляризация, либо деформация или намагниченность?	1) нет 2) да 3) может быть 4) две величины
20	Мультиферроик – это кристалл в котором одновременно возникает ...	1) поляризация и деформация 2) поляризация и намагниченность 3) намагниченность и деформация 4) поляризация и проводимость
21	Спонтанная поляризация титаната бария имеет величину	1) 3 мкКл/см <sup>2</sup> 2) 5 мкКл/см <sup>2</sup> 3) 25 мкКл/см <sup>2</sup> 4) 50 мкКл/см <sup>2</sup>
22	Величина диэлектрической проницаемости вакуума $\epsilon_0$ имеет значение...	1) $1,65 \cdot 10^{-6}$ Ф/м 2) $8,85 \cdot 10^{-10}$ Ф/м 3) $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м 4) $3,05 \cdot 10^{-8}$ Ф/м

Каждый правильный ответ оценивается одним баллом (N)

### Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если ..17<N<22.....;
- оценка «хорошо» ..... 13<N<16.....;
- оценка «удовлетворительно» ..... 8<N<12.....;
- оценка «неудовлетворительно» ..... 0<N<7.....

### Тема 2. Термодинамическая теория сегнетоэлектриков

	Вопрос	Варианты ответа
1	Какие функции состояния системы используются в термодинамике?	1) внутренняя энергия 2) потенциал Гиббса 3) внешняя энергия 4) свободная энергия

2	Зависит ли значение функции состояния системы от предыстории системы?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) да</li> <li>2) в некоторых случаях</li> <li>3) нет</li> <li>4) зависит от траектории перехода системы в новое состояние</li> </ol>
3	За счет чего совершается работа, если система теплоизолированная?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) убыли внутренней энергии</li> <li>2) убыли свободной энергии</li> <li>3) убыли термодинамического потенциала</li> <li>4) убыли внешней энергии</li> </ol>
4	При изменении температуры диэлектрическая восприимчивость выше точки Кюри изменяется как...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) не изменяется</li> <li>2) прямо пропорционально T</li> <li>3) обратно пропорционально T</li> <li>4) пропорционально T<sup>2</sup></li> </ol>
5	За счет чего совершается работа, если система находится в изотермических условиях?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) убыли внутренней энергии</li> <li>2) убыли свободной энергии</li> <li>3) убыли термодинамического потенциала</li> <li>4) убыли внешней энергии</li> </ol>
6	За счет чего совершается работа, если система находится в изобарно-изотермических условиях?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) убыли внутренней энергии</li> <li>2) убыли свободной энергии</li> <li>3) убыли термодинамического потенциала</li> <li>4) убыли внешней энергии</li> </ol>
7	Какую величину выбирают в качестве параметра фазового перехода в сегнетоэлектриках?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) спонтанную намагниченность</li> <li>2) спонтанную деформацию</li> <li>3) спонтанную поляризацию</li> <li>4) диэлектрическую проницаемость</li> </ol>
8	Разложение термодинамического потенциала $\Phi$ в степенной ряд проводится...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) по нечетным степеням P</li> <li>2) по четным степеням P</li> <li>3) по четным и нечетным степеням P</li> <li>4) по дробным степеням P</li> </ol>
9	Запись термодинамического потенциала $\Phi$ в виде многочлена является разложением в ряд...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) если фазовый переход 1-го рода</li> <li>2) если фазовый переход 2-го рода</li> <li>3) при любом роде фазового перехода</li> <li>4) при несобственном фазовом переходе</li> </ol>
10	Закон Кюри-Вейсса для сегнетоэлектриков имеет вид...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>\chi = \frac{C}{T}</math></li> <li>2) <math>\chi = \frac{C}{T - T_C}</math></li> <li>3) <math>\chi = CT^2</math></li> <li>4) <math>\chi = \frac{C}{T - T_N}</math></li> </ol>

11	Почему при фазовом переходе 1-го рода запись термодинамического потенциала $\Phi(P,T)$ является аппроксимацией многочленом?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) выделяется скрытая теплота перехода</li> <li>2) наблюдается гистерезис диэлектрической проницаемости в точке Кюри</li> <li>3) не соблюдается условие малости параметра порядка</li> <li>4) не выполняются изотермические условия измерений</li> </ol>
12	Каков экспериментальный критерий применимости термодинамики в собственных сегнетоэлектриках?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) выполнение правила Вегарда;</li> <li>2) выполнение закона Кюри-Вейсса;</li> <li>3) выполнение закона Видера;</li> <li>4) выполнение закона Ома.</li> </ol>
13	В какую сторону электрическое поле смещает точку Кюри?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) высоких температур;</li> <li>2) низких температур;</li> <li>3) не смещает;</li> <li>4) зависит от направления поля.</li> </ol>
14	Закон «двойки» для диэлектрической проницаемости справедлив в случае...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) фазового перехода 2-го рода;</li> <li>2) фазового перехода 1-го рода;</li> <li>3) антисегнетоэлектриков;</li> <li>4) сегнетоэластиков.</li> </ol>
15	Закон «четверки» для диэлектрической проницаемости справедлив в случае...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) фазового перехода 2-го рода;</li> <li>2) фазового перехода 1-го рода;</li> <li>3) антисегнетоэлектриков;</li> <li>4) сегнетоэластиков.</li> </ol>
16	Форма кривой $\Phi(P)$ термодинамического потенциала при фазовом переходе 1-го рода имеет вид...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) трехминимумного потенциала;</li> <li>2) двухминимумного потенциала;</li> <li>3) экспоненциальной функции;</li> <li>4) гиперболической функции.</li> </ol>
17	Форма кривой $\Phi(P)$ термодинамического потенциала при фазовом переходе 2-го рода имеет вид...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) трехминимумного потенциала;</li> <li>2) двухминимумного потенциала;</li> <li>3) экспоненциальной функции;</li> <li>4) гиперболической функции.</li> </ol>
18	Применимость термодинамической теории вблизи точки Кюри ограничивает...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) наличие доменной структуры;</li> <li>2) внешнее электрическое поле;</li> <li>3) флуктуации параметра порядка;</li> <li>4) внешние механические напряжения.</li> </ol>
19	Неоднородное распределение поляризации в сегнетоэлектрике учитывается в записи термодинамического потенциала введением...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) адиабатической поправки;</li> <li>2) градиентного члена;</li> <li>3) поправки Дзялошинского;</li> <li>4) параметра Хейванга.</li> </ol>
20	Коэффициенты разложения термодинамического потенциала можно определить из...	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) диэлектрических измерений;</li> <li>2) петель гистерезиса <math>P(E)</math>;</li> <li>3) измерений проводимости;</li> <li>4) тепловых измерений.</li> </ol>

Каждый правильный ответ оценивается одним баллом (N)

**Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если  $16 < N < 20$ .....;
- оценка «хорошо» .....  $12 < N < 15$ .....;
- оценка «удовлетворительно» .....  $7 < N < 11$ .....;

- оценка «неудовлетворительно» ..... 0<N<6.....
- оценка «зачтено» выставляется студенту, если ... 7<N<20.....;
- оценка «не зачтено» ..... 0<N<6.....

### **Тема 3. Доменная структура сегнетоэлектриков.**

	Вопрос	Варианты ответа
1	Чем определяется тип доменов ( $180^0$ , $90^0$ , $60^0$ или др.), которые реализуются в сегнетоэлектрике?	1) симметрией парафазы 2) симметрией сегнетофазы 3) спонтанной деформацией в $T_c$ 4) электрострикцией
2	Причина разбиения кристалла на домены	1) увеличение поляризации; 2) уменьшение энергии кристалла; 3) рост проводимости; 4) нагрев кристалла.
3	Области кристалла, в которых поляризация имеет отличающееся от других областей направление, называется _____	1) кластером 2) зерном 3) доменом 4) гранулой
4	Конкуренция каких энергий определяет равновесную ширину домена?	1) электрической и упругой; 2) деполяризующего поля и доменных границ; 3) магнитной и тепловой; 4) механической и гравитационной
5	Зависит ли равновесная ширина домена от размеров образца?	1) зависит 2) не зависит 3) увеличивается 4) уменьшается
6	Является ли равновесная ширина домена параметром, характерным для кристалла?	1) не является 2) зависит от типа кристалла 3) является 4) только в собственных сегнетоэлектриках.
7	Чем определяется равновесная форма домена?	1) спонтанной поляризацией; 2) спонтанной деформацией; 3) пьезоэлектрическим эффектом; 4) магнитоэлектрическим взаимодействием.
8	Как влияет проводимость кристалла на равновесную ширину домена?	1) не зависит 2) уменьшается 3) увеличивается
9	При приложении внешнего электрического поля сегнетоэлектрик .....	1) поляризуется 2) нагревается 3) намагничивается 4) охлаждается

10	Как изменяется ширина доменной стенки при приближении температуры к точке Кюри?	1) увеличивается 2) не зависит 3) уменьшается 4) зависит от рода фазового перехода
11	Обладает ли пьезоэффектом полидоменный сегнетоэлектрик с центросимметричной парафазой?	1) не обладает 2) обладает при малых полях 3) обладает всегда 4) обладает в сегнетофазе
12	Как должны располагаться домены в сегнетоэлектрике при их упаковке?	1) как угодно 2) голова к хвосту 3) голова к голове 4) хвост к хвосту
13	Как происходит изменение поляризации в $180^0$ -й доменной стенке между двумя доменами:	1) только по направлению; 2) только по величине; 3) по величине и направлению; 4) не изменяется.
14	Какие условия должны соблюдаться при разбиении сегнетоэлектриков на домены?	1) минимум энергии; 2) сплошность кристалла; 3) электронейтральность; 4) стабильность доменных конфигураций.
15	Неодинаковая зависимость поляризации от электрического поля при его возрастании и уменьшении называется диэлектрическим .....	1) упорядочением; 2) гистерезисом; 3) охлаждением; 4) нагреванием.
16	Величина электрического поля, при котором поляризация образца изменяется на обратное, называется ....	1) полем насыщения; 2) коэрцитивным полем; 3) центробежным полем; 4) полем Лоренца.
17	По какому закону происходит изменение поляризации в $180^0$ -й доменной стенке?	1) логарифмическому; 2) синусоидальному; 3) гиперболическому тангенсу; 4) экспоненциальному.
18	Сегнетоэлектрики применяются для изготовления:	1) резисторов; 2) конденсаторов; 3) датчиков давления; 4) пьезотрансформаторов.
19	Назовите основной механизм, приводящий к нелинейной зависимости поляризации от поля в сегнетоэлектрике.	а) движение доменных границ; б) диффузия точечных дефектов; в) вращение доменов; г) вращение векторов поляризации в доменной стенке.
20	Позволяет ли изучать динамику доменных границ метод нематических жидких кристаллов?	а) не позволяет; б) позволяет; в) только в многоосных кристаллах.
21	Почему в области насыщения петли гистерезиса $P(E)$ сегнетоэлектрика поляризация возрастает с увеличением электрического поля?	а) возрастает индуцированная поляризация с полем; б) вследствие ориентации спонтанной поляризации; в) из-за антипараллельной ориентации дипольных моментов в кристалле.

Каждый правильный ответ оценивается одним баллом (N)

**Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если .....  $17 < N < 21$ .....;
- оценка «хорошо» .....  $13 < N < 16$ .....;
- оценка «удовлетворительно» .....  $8 < N < 12$ .....;
- оценка «неудовлетворительно» .....  $0 < N < 7$ .....
  
- оценка «зачтено» выставляется студенту, если ...  $8 < N < 21$ .....;
- оценка «не зачтено» .....  $0 < N < 7$ .....

**7.1.2. Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

1. Дипольные моменты и структура кристаллов. Принцип Неймана. Полярные классы кристаллов. Сегнетоэлектрики.
2. Спонтанная поляризация. Условие существования спонтанной поляризации в дипольных кристаллах.
3. Классификации сегнетоэлектриков.
4. Антисегнетоэлектрики. Сегнетиэлектрики. Сегнетоферромагнетики. Сегнетоэластики. Ферроики. Мультиферроики.
5. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости основных сегнетоэлектриков. Закон Кюри-Вейсса.
6. Гистерезис и спонтанная поляризация. Схема Сойлера-Тауэра.
7. Экспериментальное определение параметров сегнетоэлектрика по петле диэлектрического гистерезиса.
8. Температурные зависимости  $E_K$  и  $P_{сп}$  основных сегнетоэлектриков.
9. Диэлектрическая нелинейность сегнетоэлектриков в постоянном электрическом поле. Применения диэлектрической нелинейности.
10. Диэлектрическая нелинейность сегнетоэлектриков в переменном электрическом поле.
11. Термодинамические функции и фазовые переходы 1-го и 2-го рода.
12. Термодинамическая теория сегнетоэлектриков, испытывающих фазовый переход 2-го рода.
13. Термодинамическая теория сегнетоэлектриков, испытывающих фазовый переход 1-го рода.
14. Экспериментальное определение коэффициентов разложения термодинамического потенциала.
15. Два направления развития микроскопической теории сегнетоэлектриков.
16. Модель локальных минимумов.
17. Ток диэлектрической адсорбции.
18. Особенности электропроводности сегнетоэлектриков.
19. Позисторный эффект. Модель Хейванга-Джонкера.
20. Доменная структура. Равновесная ширина домена.

21. Доменные границы. Структура доменной стенки.
22. Равновесная форма доменов.
23. Закономерности упаковки сегнетоэлектрических доменов.
24. Методы наблюдения доменной структуры: заряженных порошков, "росы", травления, оптический метод, НЖК и др.
25. Внутреннее трение. Меры и методы определения внутреннего трения.
26. Внутреннее трение при фазовых переходах. Модель Ландау-Халатникова.

## **8. УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Гриднев С.А. Физика полярных диэлектриков. - Саарбрюккен: Академическое издательство «Палмариум», 2014. – 219 с.
2. Гриднев С.А., Коротков Л.Н. Неупорядоченные полярные диэлектрики. - Саарбрюккен: Академ. изд-во Палмариум, 2013. – 170 с.
3. Гриднев С.А. Методические указания к подготовке к практическим занятиям (семинарам) по дисциплине «Физика полярных диэлектриков». - Воронеж: ВГТУ, 2013. – 60 с. (электронная форма)
4. Гриднев С.А. Методические указания к выполнению и оформлению курсовых работ по дисциплине «Физика полярных диэлектриков». - Воронеж: ВГТУ, 2015. – 20 с. (электронная форма).
5. Гриднев С.А. Диэлектрики с метастабильной электрической поляризацией (учебное пособие). - Воронеж: ВГТУ, 2005. - 117 с.
6. Гриднев С.А. Методические указания по подготовке научных работ к печати. - Воронеж: ВГТУ, 2006. - 43 с.
7. Струков Б.А., Леванюк А.П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах: Учеб. пособие: Для вузов – М.: Наука. Физматлит, 1995. - 304 с.
8. Рабе К.М., Ан Ч.Г., Трискон Ж.-М. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 446 с.

### **8.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer



## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для осуществления образовательного процесса необходимо:

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (221/1).
2. Научно-учебная лаборатория физических свойств сегнетоэлектриков (002/1) с научно-исследовательскими измерительными стендами, комплексами и оборудованием.
3. Научно-учебная лаборатория акустических методов исследования сегнетоэлектрических материалов (034/1) с измерительными стендами, комплексами и оборудованием.

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе» читаются лекции, проводятся практические занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков по самостоятельному изучению отдельных тем дисциплины и доходчивому изложению материала в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на этапе промежуточного контроля и на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы формул, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов,

	терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Самостоятельная проработка отдельных тем дисциплины. Конспектирование рекомендуемых источников. Подготовка доклада с выступлением на семинаре. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и изучение материала на практических занятиях.

## **АННОТАЦИЯ**

к рабочей программе дисциплины  
«Физика полярных диэлектриков и устройства на их основе»

**Направление подготовки** (специальность) 16.04.01 Техническая физика

**Профиль** (специализация) Прикладная физика твердого тела

**Квалификация выпускника** Магистр

**Нормативный период обучения** 2 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2018 г.

**Цель изучения дисциплины:** Цель изучения дисциплины: теоретически и практически подготовить будущих специалистов в области физики полярных диэлектриков к знанию их физических свойств, к освоению методов получения материалов, способов измерения их свойств и сформировать у студента универсальные, предметно-специализированные компетенции, способствующие уверенной ориентации будущих магистров в современном физическом материаловедении.

**Задачи изучения дисциплины:**

Формирование у студентов знаний о методах получения полярных диэлектриков, физических механизмах, обуславливающих появление новых свойств у спонтанно поляризованных материалов, о физических свойствах, проявляемых полярными диэлектрическими материалами, и об основных направлениях применения полярных диэлектриков в различных областях электронной техники.

**Перечень формируемых компетенций:**

ОК-5 - готов действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения.

ПК-5 - способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.

ПК-9 - готов принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по направленности (профилю) программы магистратуры, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов.

**Общая трудоемкость дисциплины ЗЕТ:** 5 з.е.

**Форма итогового контроля по дисциплине:** \_\_\_\_\_ экзамен \_\_\_\_\_

(зачет, зачет с оценкой, экзамен)