

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и электроники

В.А. Небольсин/

И.О. Фамилия

30 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Методы получения диэлектрических материалов»

Направление подготовки 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

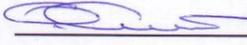
Направленность 01.04.07- Физика конденсированного состояния

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /Стогней О.В./

**Заведующий кафедрой
Физики твердого тела**  /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП  /Калинин Ю.Е./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины

Теоретически и практически подготовить обучающихся к знанию закономерностей, определяющих влияние электрической поляризации диэлектрических материалов на их физические свойства, а также к освоению методов получения диэлектрических материалов.

1.2 Задачи освоения дисциплины

Формирование у аспирантов знаний о структурных особенностях и методах получения полярных диэлектриков, о физических свойствах, проявляемых полярными диэлектрическими материалами, и об основных направлениях применения полярных диэлектриков.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Методы получения диэлектрических материалов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Методы получения диэлектрических материалов» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-7 - способностью демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и тех, которые находятся на передовом рубеже физики конденсированного состояния

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-7	Знать: как осуществлять выбор компонент и режимы технологического процесса для получения требуемых характеристик у формируемого диэлектрика; требования, предъявляемые к диэлектрикам, исходя из особенностей их эксплуатации
	Уметь: прогнозировать свойства диэлектрических материалов исходя из элементного состава; объяснять основные наблюдаемые эффекты в диэлектрических материалах с позиции фундаментальных физических взаимодействий
	Владеть: терминологией, способностью подбирать метод и технологию получения диэлектриков исходя из требуемых свойств

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Методы получения диэлектрических материалов» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
					5
Аудиторные занятия (всего)	10				10
В том числе:					
Лекции	10				10
Практические занятия (ПЗ)					
Самостоятельная работа	98				98
Реферат (есть, нет)					
Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)	зачет				зачет
Общая трудоемкость	час	108			108
	зач. ед.	3			3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Особенности свойств диэлектрических 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. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейсса. Собственные и несобственные сегнетоэлектрики.	2			19	21
2	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.	2			19	21
3	Доменная структура диэлектрических	Причина разбиения кристалла на домены. Равновесная ширина домена. Симметрия кристалла и геометрия доменов. Равновесная форма домена. Границы между доменами.	2			20	22

	сегнетоэлектриков	Структура доменных границ.					
4	Технологическая схема изготовления керамики.	Выбор и подготовка исходных компонентов. Расчет шихты. Смешивание компонентов (помол). Обезвоживание и сушка. Гранулирование шихты. Формование заготовок (прессование). Высокотемпературный обжиг (спекание). Нанесение металлических электродов (металлизация). Поляризация керамики в электрическом поле.	2			20	22
5	Свойства керамических материалов.	Конденсаторная керамика. Способы получения керамики с высокой диэлектрической проницаемостью в широком интервале температур. Терморезистивные свойства позисторной керамики. ТКС позисторной керамики вблизи точки Кюри. Пьезокерамические материалы. Система цирконата-титаната свинца. Бессвинцовые пьезокерамики. Стеклокерамика (ситаллы) и их свойства.	2			20	22
Контроль			зачет				
Итого			10			98	108

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-7	Знать: как осуществлять выбор компонент и режимы технологического процесса для	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	получения требуемых характеристик у формируемого диэлектрика; требования, предъявляемые к диэлектрикам, исходя из особенностей их эксплуатации			
	Уметь: прогнозировать свойства диэлектрических материалов исходя из элементного состава; объяснять основные наблюдаемые эффекты в диэлектрических материалах с позиции фундаментальных физических взаимодействий	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: терминологией, способностью подбирать метод и технологию получения диэлектриков исходя из требуемых свойств	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре по системе:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
-------------	---	---------------------	---------	--------	-------	---------

ПК-7	Знать: как осуществлять выбор компонент и режимы технологического процесса для получения требуемых характеристик у формируемого диэлектрика; требования, предъявляемые к диэлектрикам, исходя из особенностей их эксплуатации	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь: прогнозировать свойства диэлектрических материалов исходя из элементного состава; объяснять основные наблюдаемые эффекты в диэлектрических материалах с позиции фундаментальных физических взаимодействий	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть: терминологией, способностью подбирать метод и технологию получения диэлектриков исходя из требуемых свойств	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что является количественной мерой распределения зарядов в структуре кристалла?

- поляризация
- функция распределения
- электрический момент
- электропроводность

2. Размерность спонтанной электрической поляризации

- Кл/м
- Кл/м²
- Кл·м
- Кл·м²

3. Количественная мера спонтанной поляризации

- объемный заряд
- поверхностная плотность заряда
- дипольный момент
- плотность электронных состояний

4. Спонтанная поляризация в дипольных кристаллах возникает в случае только...

- гармонических колебаний
- ангармонических колебаний
- резонансных колебаний
- собственных колебаний

5. Если кристалл содержит две одинаковых подрешетки, спонтанно поляризованные в противоположных направлениях, то он является...

- сегнетоэлектриком
- параэлектриком
- сегнетиэлектриком
- антисегнетоэлектриком

6. Каков экспериментальный критерий применимости термодинамики в собственных сегнетоэлектриках?

- выполнение правила Вегарда;
- выполнение закона Кюри-Вейсса;
- выполнение закона Видера;
- выполнение закона Ома.

7. Что ограничивает применимость термодинамической теории вблизи точки Кюри?

- наличие доменной структуры;
- внешнее электрическое поле;
- флуктуации параметра порядка;
- внешние механические напряжения.

8. Какая из классификаций сегнетоэлектриков наиболее полная?

- по числу направлений спонтанной поляризации
- кристаллохимическая
- кристаллофизическая
- по характеру фазового перехода

9. Закон «четверки» для диэлектрической проницаемости справедлив в случае

- *фазового перехода 2-го рода;*
- *фазового перехода 1-го рода;*
- *антисегнетоэлектриков;*
- *сегнетоэластиков.*

10. В какую сторону электрическое поле смещает сегнетоэлектрическую точку Кюри?

- *высоких температур;*
- *низких температур;*
- *не смещает;*
- *зависит от направления поля.*

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Форма кривой $\Phi(P)$ термодинамического потенциала при фазовом переходе 2-го рода имеет вид

- *трехминимумного потенциала;*
- *двухминимумного потенциала;*
- *экспоненциальной функции;*
- *гиперболической функции.*

2. За счет чего совершается работа, если система теплоизолирована?

- *убыли внутренней энергии*
- *убыли свободной энергии*
- *убыли термодинамического потенциала*
- *убыли внешней энергии*

3. За счет чего совершается работа, если система находится в изотермических условиях?

- *убыли внутренней энергии*
- *убыли свободной энергии*
- *убыли термодинамического потенциала*
- *убыли внешней энергии*

4. За счет чего совершается работа, если система находится в изобарно-изотермических условиях?

- *убыли внутренней энергии*
- *убыли свободной энергии*
- *убыли термодинамического потенциала*
- *убыли внешней энергии*

5. При изменении температуры диэлектрическая восприимчивость выше точки Кюри изменяется

- *пропорционально T^2*
- *прямо пропорционально T*
- *обратно пропорционально T*
- *не изменяется*

6. Зависит ли значение функции состояния системы от предыстории системы?

- нет
- в некоторых случаях
- да
- зависит от траектории перехода

7. Запись термодинамического потенциала Φ в виде многочлена является разложением в ряд по малому параметру

- если фазовый переход 1-го рода
- если фазовый переход 2-го рода
- при любом роде фазового перехода
- при несобственном фазовом переходе

8. Форма кривой $\Phi(P)$ термодинамического потенциала при фазовом переходе 1-го рода имеет вид...

- трехминимумного потенциала;
- двухминимумного потенциала;
- экспоненциальной функции;
- гиперболической функции.

9. Неоднородное распределение поляризации в сегнетоэлектрике учитывается в записи термодинамического потенциала введением...

- адиабатической поправки;
- градиентного члена;
- поправки Дзялошинского;
- параметра Хейванга.

10. Ток диэлектрической абсорбции в сегнетоэлектрике обусловлен...

- взаимодействием между носителями заряда;
- образованием объемного заряда;
- сегнетоэлектрической поляризацией;
- величиной электрического момента.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Как распределяется потенциал по толщине образца в том случае, если накопления объемного заряда не происходит?

- по квадратичному закону;
- по экспоненциальному закону;
- по линейному закону;
- по логарифмическому закону.

2. Температурная зависимость электропроводности сегнетоэлектрического кристалла описывается формулой...

- $\sigma = A_1 \exp(-B_1 / kT) + A_2 \exp(-B_2 / kT)$
- $\sigma = \exp(-U / kT)$
- $\sigma = \exp(U / kT)$
- $\sigma = I / U$.

3. В кислородно-октаэдрических сегнетоэлектриках проводимость является...

- ионной;
- электронной;

- полярной;
- межзонной.

4. Позисторный эффект в сегнетоэлектриках при $T=T_C$ заключается в ...

- резком росте сопротивления;
- уменьшении сопротивления;
- независимости сопротивления от температуры;
- синусоидальном изменении сопротивления.

5. Положением аномалии на терморезистивной кривой позисторов можно управлять...

- электрическим полем;
- магнитным полем;
- легированием примесями;
- механическим напряжением.

6. В модели Хейванга позисторный эффект связывается с явлениями, происходящими ...

- в приэлектродных областях;
- на границах зерен;
- в доменной структуре;
- в объеме кристаллитов.

7. Причина разбиения сегнетоэлектрического кристалла на домены А) увеличение поляризации;

- уменьшение деполяризующей энергии кристалла;
- рост проводимости;
- увеличение диэлектрической проницаемости.

8. Из каких измерений не определяют коэффициенты разложения термодинамического потенциала

- диэлектрических измерений;
- петель гистерезиса $P(E)$;
- измерений проводимости;
- измерений поляризации.

9. Что такое ток диэлектрической абсорбции?

- ток, зависящий от времени;
- ток, зависящий от температуры;
- ток сквозной проводимости;
- любой ток в диэлектрике.

10. Ток диэлектрической абсорбции в линейном диэлектрике обусловлен А) диполь-дипольным взаимодействием

- сквозной проводимостью;
- поляризацией диэлектрика;
- взаимодействием носителей заряда.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Дипольные моменты и структура кристаллов. Принцип Неймана.

2. Спонтанная поляризация. Условие существования спонтанной поляризации в дипольных кристаллах.
3. Классификации сегнетоэлектриков.
4. Экспериментальное определение параметров сегнетоэлектрика по петле диэлектрического гистерезиса.
5. Температурные зависимости E_k и $R_{сп}$ основных сегнетоэлектриков.
6. Термодинамические функции и фазовые переходы 1-го и 2-го рода.
7. Два направления развития микроскопической теории сегнетоэлектриков.
8. Особенности электропроводности сегнетоэлектриков.
9. Доменная структура. Равновесная ширина домена.
10. Керамика. Фазы керамики.
11. Технологическая схема изготовления керамики.
12. Требования, предъявляемые к сырьевым материалам.
13. Выбор и подготовка исходных компонентов.
14. Расчет шихты.
15. Способы гранулирования шихты: обычное гранулирование, гранулирование прессованием, распылительной сушкой и др.
16. Основные методы формования заготовок.
17. Методы прессования: холодное прессование в пресс-формах; мундштучное прессование; изостатическое и взрывное прессование; вибрационное уплотнение; горячее прессование. Достоинства и недостатки различных методов прессования.
18. Горячее литье. Основные методы: намораживание, сливное литье, литье в кокиль, центробежное литье, непрерывное литье, литье под давлением.
19. Обжиг. Процессы в ходе обжига. Однократный и двукратный обжиг.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если аспирант набрал менее 7 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если аспирант набрал от 7 баллов до 13.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если аспирант набрал от 14 баллов до 16.

4. Оценка «Отлично» ставится в случае, если аспирант набрал от 18 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Введение. Особенности свойств диэлектрических сегнетоэлектриков	ПК-7	Тест, зачёт
2.	Влияние электрического поля на свойства сегнетоэлектриков	ПК-7	Тест, зачёт
3.	Доменная структура диэлектрических сегнетоэлектриков	ПК-7	Тест, зачёт
4.	Технологическая схема изготовления керамики.	ПК-7	Тест, зачёт
5.	Свойства керамических материалов .	ПК-7	Тест, зачёт

7.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

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. Струков Б.А., Леванюк А.П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах: Учеб. пособие: Для вузов – М.: Наука. Физматлит, 1995. - 304 с.
3. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология материалов электронной техники: Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. - 222 с.
4. С.А. Гриднев, Л.Н. Коротков Технология керамических материалов: Учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2011. - 112 с.
5. К. Окадзаки Технология керамических диэлектриков. М.: Энергия, 1976. - 336 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

Программные продукты: Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer

Электронная библиотечная система IPRbooks

<http://www.iprbookshop.ru/>

Информационные справочные системы

dict.sernam.ru, Wikipedia, Math-Net.Ru

<http://eios.vorstu.ru/>

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

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (ауд. 226, учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14).

2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерами с необходимым программным обеспечением и выходом во внешнюю сеть Internet (ауд. 226а, учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14).

3. Помещения для самостоятельной работы:

- библиотечный зал (учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14, 1 этаж);

- читальный зал (учебный корпус, расположенный по адресу: Московский пр., 14, ауд. 203).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Методы получения диэлектрических материалов»

читаются лекции.

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем зачета.

Вид учебных занятий	Деятельность обучающегося
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, 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.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none">- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;- выполнение домашних заданий и расчетов;- работа над темами для самостоятельного изучения;- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;- подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачётом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.