

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

***Практикум по материалам электронной
техники***

кафедра экспериментальной физики

Образовательная программа
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль подготовки
Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация (степень)
Бакалавр

Форма обучения
очная

Статус дисциплины:
базовая

Махачкала 2017г.

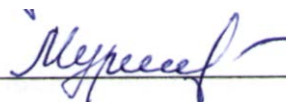
Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04- Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки: микроэлектроника и твердотельная электроника (уровень: бакалавриата) – Приказ Минобрнауки России от 12.03.2015 № 218.

Разработчик (и): кафедра экспериментальной физики, Офицера Н.В., к.ф.-м.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры экспериментальной физики от «31» марта 2017г., протокол № 8

Зав. кафедрой —  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «31» марта 2017г., протокол № 7.

Председатель —  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«3» апреля 2017г.  Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина ***Практикум по материалам электронной техники*** входит в базовую часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) ***11.03.04 Электроника и нанoeлектроника***.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой экспериментальной физики.

Содержание дисциплины представляет собой цикл лабораторных работ, связанных с физическими процессами, происходящими в проводниках, полупроводниках и диэлектриках, а также рассматривает основные группы материалов, обладающими свойствами проводников, полупроводников и диэлектриков, и используемых в электронной технике с учетом их свойств.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

Общекультурных:

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

общепрофессиональных:

способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);

способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7);

профессиональных:

научно-исследовательская деятельность:

готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3);

производственно-технологическая деятельность:

способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-8);

монтажно-наладочная деятельность:

готовностью к участию в монтаже, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов материалов и изделий электронной техники (ПК-14);

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *практические занятия, лабораторные занятия, контрольные работы, самостоятельная работа.*

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *контрольных работ* промежуточный контроль в форме *сдачи итогового отчета по выполнению лабораторных работ.*

Объем дисциплины 2 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, экзамен
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Всего	из них						
Лекции		Лаборатор ные занятия	Практиче ские занятия	КСР	консульта ции			
4	68	-	34	34	36	-	-	

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины *Практикум по материалам электронной техники* являются получение базовых знаний по материалам и элементам электронной техники, необходимые как для понимания физических процессов, протекающих в проводниках, полупроводниках, диэлектриках и магнитных материалах, так и для ориентации будущих инженеров в широком классе материалов электронной техники и умения применять их для заданной цели.

Задачами курса является изучение основных материалов электронной техники, их свойств и использования их для заданных целей. Рассмотрены основные физические явления в проводниках, полупроводниках, диэлектриках и магнетиках. Очерчен основной круг материалов как основных, так и вспомогательных, применяемых в электронной техники с учетом их свойств. Приведены также устройства и их использование с учетом явлений, происходящих в вышеупомянутых материалах.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина *Материалы электронной техники* входит в базовую часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности)

11.04.03. Электроника и микроэлектроника.

Для освоения дисциплины необходимо знание всех курсов общей физики, математического анализа, дифференциальных уравнений. Кроме того для освоения данного курса полезны такие дисциплины как «Введение в физику полупроводников», «Метрология и стандартизация».

Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся для успешного освоения дисциплины:

Знать:

1. Объектно-ориентированный подходы и основные понятия общей физики;
2. Основные понятия и уравнения математического анализа и дифференциальных уравнений;
3. Основные положения системы единиц СИ

Уметь:

1. Пользоваться ПК и обрабатывать экспериментальные результаты помощью компьютерных программ;
2. Ориентироваться в современной измерительной аппаратуре и использовать ее для получения информации о МЭТ;
3. Применять систему единиц СИ.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
Общекультурные	- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);	<i>Знать:</i> основные правовые и этические нормы при оценке последствий своей профессиональной деятельности; <i>Уметь:</i> адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в данной области знаний; <i>Владеть:</i> навыками к самоорганизации и самообразованию;
Общепрофессиональные	- способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2); - способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);	<i>Знать:</i> основные проблемы в данной предметной области, методы и средства их решения; <i>Уметь:</i> использовать результаты освоения материала, выбирать методы и средства их решения; <i>Владеть:</i> методами и способами самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности;
Профессиональные	- готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3); - готовность к участию в монтаже, испытаниях и сдаче в эксплуатацию	<i>Знать:</i> физическую сущность процессов, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах при их применении в различных приборах и устройствах твердотельной электроники; <i>Уметь:</i> использовать физическую

	опытных образцов материалов и изделий электронной техники (ПК-14);	сущность процессов, происходящих в материалах электронной техники в различных областях техники; <i>Владеть:</i> навыками выбора и применения материалов электронной техники с учетом их особенностей и свойств для конкретных электронных устройств заданного назначения;
--	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
<i>Модуль 1. Проводниковые материалы</i>									
1	Введение	4	1	-	2	2	2		
2	Основные характеристики и классификация проводников	4	2-3	-	4	4	4	-	Самостоятельная работа
3	Проводящие и резистивные материалы	4	4-6	-	6	6	6	-	Самостоятельная работа
	<i>Итого по модулю 1:</i>	4		-	12	12	12	-	Контрольная работа
<i>Модуль 2 Полупроводниковые материалы</i>									
1	Электрофизические свойства полупроводников	4	7 - 9	-	6	6	6	-	Самостоятельная работа
2	Полупроводниковые материалы	4	10 - 12		6	6	6	-	Самостоятельная работа
	<i>Итого по модулю 2:</i>	4			12	12	12		Контрольная работа
<i>Модуль 3 Диэлектрические материалы</i>									
1	Основные физические процессы в диэлектриках	4	13-15	-	4	4	4	-	Самостоятельная работа
2	Пассивные диэлектрики	4	16-17	-	4	4	4	-	Самостоятельная работа

3	Активные диэлектрики	4	18	-	2	2	4		Самостоятельная работа
	<i>Итого по модулю 3</i>	4		-	10	10	12	-	Контрольная работа
	ИТОГО:			-	34	34	36		Отчет о выполнении лабораторных работ с приложением расчетного и графического материала.

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Темы лабораторных занятий

№ п/п	Название раздела	Название темы (лабораторные работы)	Литература
1	Проводники Проводящие и резистивные материалы	1. Исследование электропроводности металлов. 2. Исследование структуры тонких слоев методом электронографии. 3. Исследование электропроводности тугоплавких металлов и сплавов высокого сопротивления. 4. Определение электросопротивления металлов и сплавов.	[1 - 5] Основной литературы
2	Электрофизические свойства полупроводников. Полупроводниковые материалы.	1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника. 2. Определение релаксационного времени жизни носителей заряда. 3. Определение концентрации и холловской подвижности основных носителей заряда. 4. Изучение изменения удельного сопротивления полупроводника в магнитном поле.	[1 - 5] Основной литературы
3	Основные физические процессы в диэлектриках. Пассивные и активные диэлектрики.	1. Исследование диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках. 2. Исследование сегнетоэлектриков.	[1 - 5] Основной литературы

5. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

1. Информационные технологии.
2. Проблемное обучение.
3. Индивидуальное обучение.
4. Междисциплинарное обучение.

5. Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций при изучении дисциплины «Практикум по материалам электронной техники» используются следующие формы организации учебного процесса: практическое занятие, лабораторные работы, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лабораторно - практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

1. самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
2. поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- лабораторные работы, выполнение которых контролируется и завершается полным отчетом с графиками, конечными результатами вычисленными параметрами;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре. Они

также размещены на образовательном сервере Даггосуниверситета (по адресу: <http://edu.dgu.ru>), а также представлены в управление качества образования ДГУ.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ООП (тематике докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОК-7	Знать - физическую сущность процессов, протекающих в материалах электронной техники и их применение в различных приборах и устройствах	Устный опрос, письменный опрос, контрольная работа

	<p>твердотельной электроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> - справочный аппарат по выбору требуемых компонентов электронной техники; - методы оценки основных свойств материалов электронной техники; 	
ОПК – 2, ОПК – 5,	<p>Уметь использовать специализированные знания в области компонентов электронной техники для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с направлением подготовки «Электроника и нанoeлектроника»).</p>	Письменный опрос
ПК- 3, ПК-14	<p>Владеть методами количественного формулирования и применения полученных знаний в области материалов электронной техники. Иметь навыки исследования основных характеристик материалов; выбора материалов для электронной аппаратуры заданного назначения с учетом допустимых нагрузок, влияния внешних факторов и стоимости; выбора компонентов для использования в электронной аппаратуре с учетом условий ее эксплуатации, конструкции и технологии изготовления</p>	Мини - конференция

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

ОК-7

Схема оценки уровня формирования компетенции «способность к самоорганизации и самообразованию» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Систематизированное представление о материалах	Ознакомлен с основными классами	Показывает знание основных	Демонстрирует четкие определения

	электронной техники и их основных свойствах.	материалов электронной техники.	материалов электронной техники, их свойства и применение в конкретных ситуациях.	основных понятий и готовность к пониманию типовых подходов к применению материалов электронной техники.
--	--	---------------------------------	--	---

ОПК-2

Схема оценки уровня формирования компетенции *«способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат»* (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Возможность выявлять естественнонаучную сущность проблем и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Знать основные проблемы в данной предметной области средства их решения	Уметь использовать результаты освоения материала, выбирать методы и средства их решения	Отлично знать и ориентироваться во всем многообразии материалов электронной техники, их свойств и применения.

ОПК-5

Схема оценки уровня формирования компетенции *«способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных»* (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление об основных приемах обработки и представления экспериментальных данных, касающихся свойств и применения МЭТ	Иметь представление об основных приемах обработки и представления экспериментальных данных	Знать основные приемы обработки экспериментальных данных и уметь их использовать	Отлично владеть и детально ориентироваться в основных методах обработки данных, полученных при изучении МЭТ

ПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции *«готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных*

отчетов, публикаций, презентаций» приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл - но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Возможность анализировать и систематизировать результаты изучения материалов электронной техники, их свойств и применения	Иметь представление об основных классах МЭТ, свойствах и их применении	Уметь использовать физическую сущность процессов, происходящих в МЭТ, а также их свойства	Использовать результаты освоения материала, выбирать МЭТ и средства их реализации в электронной технике

ПК-14

Схема оценки уровня формирования компетенции «готовностью к участию в монтаже, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов материалов и изделий электронной техники» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовл-но	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о возможностях использования МЭТ в монтаже, испытаниях и сдаче в эксплуатацию изделий электронной техники.	Ознакомлен с основами использования материалов электронной техники в монтаже.	Показывает знание как применяется МЭТ в профессиональной деятельности.	Имеет четкие представления об использовании МЭТ в монтаже, испытаниях и сдаче в эксплуатацию изделий электронной техники.

...

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.3. Типовые контрольные задания

Контрольные работы для промежуточного контроля по дисциплине «Практикум по материалам электронной техники».

Лабораторная работа №4

Исследование электропроводности тугоплавких металлов и сплавов высокого сопротивления.

Цель работы: Определить сопротивление и его зависимость от температуры для некоторых металлов и сплавов. Выполнить расчет температурного коэффициента сопротивления.

Требуемое оборудование: 1. Измеритель электропроводности ИЭП1 – 1 шт.
2. Измерительные кассеты – 3 шт.

Теория

Важнейшими практически применяемыми в электротехнике проводниковыми материалами являются металлы и сплавы. Основными электрическими характеристиками проводниковых материалов являются следующими:

1. Удельная проводимость или обратная ей величина – удельное сопротивление.
2. Температурный коэффициент удельного сопротивления ТКР (α_R).

Электросопротивление металлов является структурно - чувствительным параметром. Для чистых металлов с наиболее правильной кристаллической решеткой значения удельного сопротивления являются минимальными. И наоборот, наличие примесей и дефектов в решетке приводит к увеличению ρ . Экспериментальные исследования показывают, что весьма небольшие изменения в структуре металлов, обусловленные, например, наличием точечных дефектов или дислокаций, приводят к заметным изменениям величины электросопротивления. Электросопротивление весьма чувствительно также к наличию в металлах атомов примесей. Заметно меняется оно и при изменении фазового состава материалов, в частности, в условиях термического и деформационного старения. В связи с этим, прецизионное изменение электросопротивления весьма эффективным макроскопическим методом изучения структурного состояния металлов.

Удельное электрическое сопротивление ρ связано с сопротивлением проводника R любой длины l и площади поперечного сечения S формулой

$$\rho = R * S / l, \quad (1)$$

Диапазон значений удельного сопротивления металлических проводников (при комнатной температуре) довольно узок: от 0,016 мкОм·м для серебра и примерно до 10 мкОм·м для железохромалюминиевых сплавов, т. е. он занимает всего три порядка. Значения удельного сопротивления некоторых металлов приведены в табл. 1.

Величина удельного сопротивления металлического проводника может быть выражена на основании представлений электронной теории металлов:

$$\rho = \frac{2 m v_T}{n_0 e^2 \lambda}, \quad (2)$$

где m – масса электрона;

v_T – средняя скорость теплового движения электрона внутри металлического проводника;

e – заряд электрона;

n_0 – число электронов в единице объема проводника;

λ – средняя длина свободного пробега электронов.

Для различных металлов скорости хаотического теплового движения электронов v_T примерно одинаковы. Концентрации свободных электронов n_0 в различных металлах также различаются незначительно (в пределах 10%). Поэтому значение удельного сопротивления и его зависимость от различных факторов определяются в основном средней длиной свободного пробега электронов в проводнике, которая обусловлена структурой материала. Все чистые металлы с наиболее правильной кристаллической решеткой характеризуются наименьшими значениями удельного сопротивления (см. табл. 1).

Таблица 1

Металлы и сплавы	Удельное сопротивление ρ , мкОм·м	Температурный коэффициент сопротивления α_R , К ⁻¹
Серебро	0,015	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Золото	0,023	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	0,026	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Медь	0,017	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Железо	0,097	$6,2 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	0,055	$5,0 \cdot 10^{-3}$

Нихром	1 – 1,2	$(1 - 2) \cdot 10^{-4}$
Константан	0,45 – 0,52	$(5 - 25) \cdot 10^{-6}$
Манганин	0,42 – 0,48	$(5 - 30) \cdot 10^{-6}$

Зависимость электрического сопротивления металлов от температуры.

Электрическое сопротивление металлов изменяется пропорционально температуре, а при низких температурах – пропорционально температуре в пятой степени. Во многих металлах при криогенных (гелиевых) температурах электрическое сопротивление практически становится равным нулю (явление сверхпроводимости здесь не рассматривается).

В интервале температур от 0 до 100⁰С можно считать, что сопротивление проводника в первом приближении изменяется по закону

$$R(T) = R_0(1 + \alpha T) \quad (3)$$

Изменение удельного сопротивления металлического проводника с температурой принято характеризовать температурным коэффициентом удельного сопротивления ТКР или α_ρ (К⁻¹).

В диапазоне средних и высоких температур температурный коэффициент электрического сопротивления

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_1} \frac{\rho_2 - \rho_1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{\rho_1} \frac{d\rho}{dT} \quad (4)$$

где ρ_1 и ρ_2 - удельное электрическое сопротивление материала при температурах T_1 и T_2 , соответственно. Температуру T_1 обычно принимают равной 20⁰С, и поэтому значение α_ρ часто приводится при этой температуре. Из формулы (4) следует, что значение α_ρ чистых металлов должно быть близким к $1/T$. Для большинства металлов вблизи 290 К величина $\alpha_\rho \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. Несколько большим α_ρ характеризуются ферромагнитные металлы.

В области линейной зависимости $\rho(T)$, используя значение коэффициента α_ρ , определенное для интервала температур ΔT , можно достаточно точно определить удельное сопротивление ρ_2 для любой температуры T_2 внутри этого интервала:

$$\rho_2 = \rho_0 [1 + \alpha_\rho (T_2 - T_1)] \quad (5)$$

Правило Маттиссена.

Примеси и нарушения кристаллической решетки приводят к увеличению удельного сопротивления. Это связано с рассеянием электронов на дефектах структуры, что приводит к снижению длины свободного пробега λ и соответственно к увеличению ρ .

Удельное сопротивление металлов связано в основном с рассеянием энергии свободных электронов на дефектах кристаллической решетки, к которым относятся примесные атомы, вакансии, дислокации, и тепловых колебаний собственных атомов. Рассеяние на статических дефектах не зависит от температуры. Поэтому при приближении температуры к абсолютному нулю сопротивление реальных металлов стремится к некоторому постоянному значению, называемому *остаточным сопротивлением*. Поэтому удельное сопротивление

$$\rho = \rho_{\text{менл.}} + \rho_{\text{ост.}} \quad (6)$$

где $\rho_{\text{менл.}}$ – удельное сопротивление, обусловленное в основном тепловыми колебаниями решетки; $\rho_{\text{ост.}}$ – удельное сопротивление, вызванное наличием дефектов в кристаллической решетке, которое не зависит от температуры.

Соотношение (6) называется *правилом Маттиссена*. Исключение из этого правила составляют сверхпроводящие металлы, в которых сопротивление исчезает ниже некоторой критической температуры.

Наиболее существенный вклад в остаточное сопротивление вносит *рассеяние на примесях*, причем любая примесная добавка приводит к повышению ρ , даже если она обладает повышенной проводимостью по сравнению с основным металлом.

Правило Маттиссена учитывает рост электрического сопротивления при повышении температуры за счет увеличения амплитуды тепловых колебаний атомов и справедливо не только для чистых металлов, но и для слаболегированных сплавов. Увеличение содержания примеси ведет к росту остаточного электрического сопротивления. Температурная зависимость электрического сопротивления, характерная для основного металла, при этом сохраняется: $d\rho_{\text{спл.}}/dT = d\rho_M/dT$, где $\rho_{\text{спл.}}$ и ρ_M – удельное электрическое сопротивление сплава и металла основы, соответственно. Отсюда следует, что температурный коэффициент электрического сопротивления сплава $\alpha_{\text{спл.}}$ меньше температурного коэффициента чистого металла:

$$\alpha_{\text{спл.}} = \frac{1}{\rho_{\text{спл.}}} \left(\frac{d\rho_M}{dT} \right) = \frac{\rho_M}{\rho_{\text{спл.}}} \alpha_M \quad (7)$$

Для ферромагнетиков и антиферромагнетиков

$$\rho = \rho_{\text{менл.}} + \rho_{\text{ост.}} + \rho_M, \quad (8)$$

где ρ_M – магнитное сопротивление, связанное с рассеянием электронов на магнитных неоднородностях (магнонах). В общем электрическое сопротивление магнетика и антиферромагнетика, определяющееся выражением (7), магнитное сопротивление вносит существенный вклад. Таким образом, электрическое сопротивление зависит как от магнитной структуры, так от дефектного состояния кристаллической решетки металлов и сплавов.

Коэффициент α_R называют *температурным коэффициентом сопротивления*. Он показывает относительное изменение сопротивления при изменении температуры. Согласно ГОСТР 8.625 - 2006 температурный коэффициент сопротивления металлического терморезистора (медь, никель, платина) α_R определяется по формуле

$$\alpha_R = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100} \quad (9)$$

где R_{100} , R_0 – значения сопротивления соответственно при 100°C и 0°C .

Коэффициент для металлов положителен, почти не меняется с температурой. Заметим, что зависимость нельзя экстраполировать до абсолютного нуля температур, при стремлении к которому сопротивление обычных металлов (не сверхпроводников) стремится к некоторой конечной величине, обусловленной наличием примесей и дефектов решетки.

Температурные коэффициенты для чистых металлов всегда больше, чем для сплавов из этих металлов. Температурные коэффициенты сплавов могут быть близки к нулю, а в некоторых случаях могут принимать даже отрицательные значения.

Электрическое сопротивление сплавов.

Удельное сопротивление сплавов определяется в основном наличием примесей и нарушением структуры входящих в них металлов. Особенно резко оно возрастает, когда при сплавлении двух металлов образуется твердый раствор, т.е. они совместно кристаллизуются. При этом атомы одного металла входят в кристаллическую решетку другого.

Статическое распределение атомов разных сортов по узлам кристаллической решетки вызывает значительные флуктуации периодического потенциального поля кристалла, что, в свою очередь, приводит к сильному рассеянию электронов. Как и в случае металлов, полное сопротивление сплава можно описать правилом Маттиссена.

Специфика твердых растворов состоит в том, что $\rho_{\text{ост.}}$ может существенно (во много раз) превышать тепловую составляющую.

Для многих двухкомпонентных сплавов изменение $\rho_{ост}$ в зависимости от состава хорошо описывается параболической зависимостью вида

$$\rho_o = Cx_Ax_B = Cx_B(1-x) \quad (10)$$

где C – константа, зависящая от природы сплава; x_A и x_B – атомные доли компонентов в сплаве.

Соотношение (9) получило название *закона Нордгейма*. Из него следует, что в бинарных твердых растворах А – В остаточное сопротивление увеличивается как при добавлении атомов В к металлу А, так и при добавлении атомов А к металлу В, причем это изменение характеризуется симметричной кривой. В непрерывном ряду твердых растворов удельное сопротивление тем больше, чем дальше по своему составу сплав отстоит от чистых компонентов.

В данной работе кроме чистой меди исследуются сплавы константан и нихром.

Константан – сплав высокого сопротивления, слабо зависящий от температуры. Состоит из 60 % меди и 40 % никеля. Константан имеет удельное сопротивление 0,5 Ом м, плотность 8,9 кг/дм³, прочность на разрыв 40 – 50 кг/мм². Константан применяется для изготовления реостатов и электронагревательных сопротивлений, если их рабочая температура не превышает 400 – 450⁰С.

Нихром – сплав высокого сопротивления никеля и хрома. К нихромам относится также ферронихром, который, кроме никеля и хрома, содержит железо (58 – 62 % никеля, 15 – 17 % хрома, остальное – железо). Плотность нихрома 8,4 кг/дм³, прочность на разрыв 70 кг/мм², удельное сопротивление около 1,0 Ом м. Нихром выпускается в виде проволоки и ленты, которые идут на изготовление спиралей электронагревательных приборов и печей, имеющих рабочую температуру до 1000⁰С.

Методика проведения эксперимента

Исследование зависимости сопротивления проводниковых материалов от температуры проводится с помощью прибора ИЭП1 (рис. 1). Он содержит термокамеру, терморегулятор и измеритель сопротивлений в диапазоне 10...10¹³ Ом.

Применяемый в приборе метод измерения сопротивлений основан на сравнении измеряемого сопротивления и образцового сопротивления с помощью операционного усилителя, охваченного глубокой обратной связью (рис. 2). В приборе имеются два диапазона измерений и используются две шкалы – линейная и обратно пропорциональная. Измерения сопротивлений в диапазоне 10²...10⁶ Ом проводятся по линейной шкале, а в диапазоне 10⁷...10¹³ Ом – по обратно пропорциональной шкале.

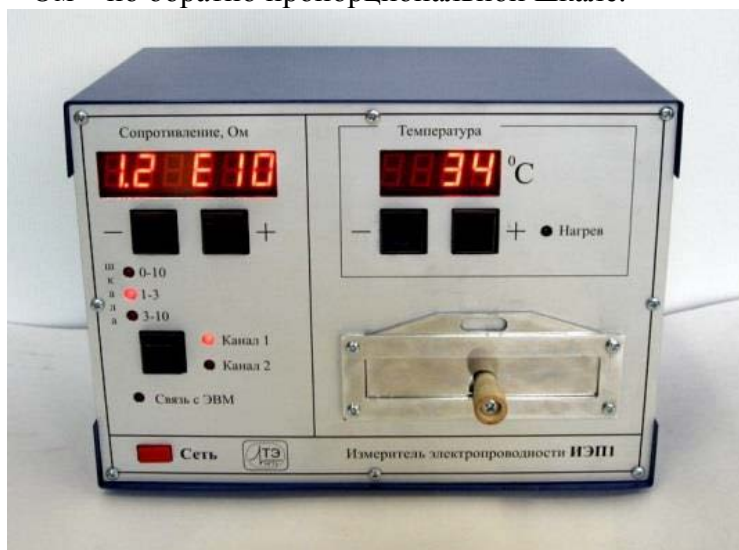


Рис.1. Прибор «Измеритель электропроводности ИЭП1».

Для включения прибора необходимо нажать кнопку «Сеть» (рис. 2), при этом загорится индикатор результата измерения, индикатор выбора температуры, индикатор выбора канала.

Исследуемые образцы находятся в измерительной кассете ИК1. Для ее установки в прибор необходимо поднять шторку, установить кассету с образцами в термокамеру прибора до упора. При этом шторка должна опуститься.

Кнопками «+» и «-» на левой части прибора устанавливается требуемый диапазон измерений. Соответствующей кнопкой на передней панели устанавливается требуемый канал для измерения. Контроль выбора канала осуществляется с помощью загорающегося индикатора.

С помощью кнопок «+» и «-» на правой части прибора устанавливается требуемое значение температуры термокамеры. При первом нажатии кнопки на индикаторе «Температура» высветится установленное значение температуры. При повторном нажатии кнопки произойдет коррекция устанавливаемой температуры. Через 2 секунды после завершения установки индикатор перейдет в режим отображения текущей температуры. Для отключения терморегулятора необходимо установить температуру менее 30°C . При этом на экране высветится сообщение «OFF».

Примечание. При работе прибора на индикаторе «Сопротивление» могут отображаться следующие сообщения: «L» – измеряемое сопротивление ниже выбранного диапазона; «H» – измеряемое сопротивление выше выбранного диапазона.

Для исследуемых в работе образцов, имеющих сопротивление ниже 10^6 Ом, измерения проводятся по линейной шкале.

Сначала измеряют сопротивление металла при комнатной температуре R_k , затем нагревают металл и проводят измерения его сопротивления при соответствующих температурах. Строят график зависимости сопротивления металла от его температуры $R = f(T)$ (рис.2).

Согласно формуле (3), этот график имеет вид прямой линии, продолжение которой (экстраполяция) пересекает ось ординат в точке R_0 .

Образцы. Первый канал: медь – поперечное сечение $S = 0,008 \text{ мм}^2$, длина $l = 25 \text{ м}$. Второй канал: константан – поперечное сечение $S = 0,07 \text{ мм}^2$, длина $l = 9 \text{ м}$.

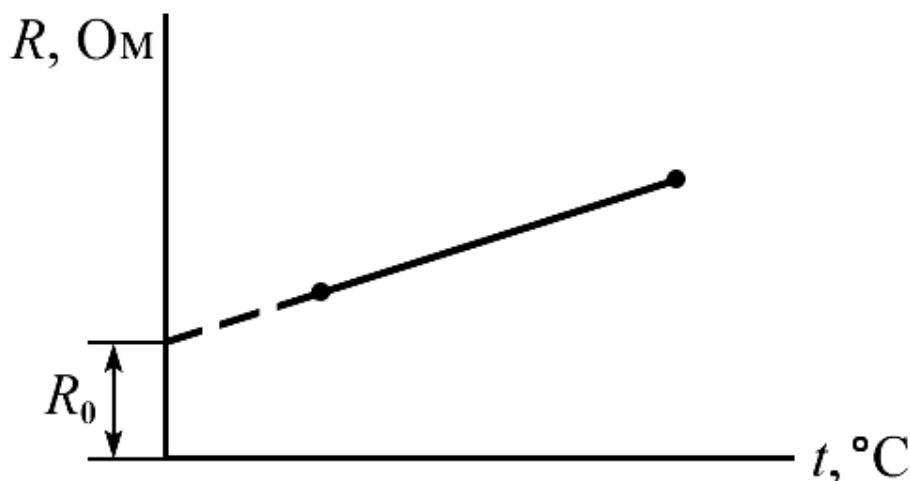


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления R от температуры T.

Порядок выполнения работы.

1. Включите кнопку «Сеть» и установите требуемый канал для измерения. Сопротивление первого материала (медь) отображается по каналу 1. Сопротивление второго материала (константан) – по каналу 2.
2. Установите требуемый диапазон сопротивления. При этом индикатор укажет на выбранную шкалу (шкала 0 – 10 – линейный режим работы, а шкалы 1 – 3 и 3 – 10 –

обратно пропорциональный режим работы). Значения сопротивлений занесите в табл. 1.

3. Измерять величины исследуемых сопротивлений необходимо при комнатной температуре. *Внимание! Кнопками выбора температуры отключить нагрев образца (индикатор должен показать «OFF»).*
4. Рассчитайте значения удельных сопротивлений материалов по формуле (1) (исследуемые материалы рассматривать в виде проволок, намотанных на катушки с известными геометрическими параметрами S и l). Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2

№	Проводящий материал	$R_{20}, \text{Ом}$	$\rho, \text{Ом м}$

5. Снимите зависимость R от температуры T . Для этого установите требуемое значение температуры термокамеры. Измерения сопротивлений производите по следующему температурному ряду: комнатная, 40, 60, 80, 100⁰С. *Рекомендуется соблюдать интервал между измерениями 10 мин для стабилизации показаний прибора при нагреве образца.* Результаты представьте в виде таблицы:

Таблица 3

№	$T, \text{К}$	$R, \text{Ом}$	$\alpha_R, \text{К}^{-1}$

6. Постройте график зависимости $R(T)$. График зависимости $R(T)$ аппроксимировать линейной зависимостью. Из коэффициента аппроксимации, определяющего наклон характеристики, рассчитать TKR (α_R).
7. По полученным результатам определите температурные коэффициенты сопротивления α_p для исследуемых материалов. Вычисление α_R проводите по выражению (3).

Контрольные вопросы.

1. Почему удельное сопротивление металлов растет с повышением температуры?
2. Что является основными электрическими характеристиками проводников?
3. Что называют температурным коэффициентом удельного сопротивления? Является ли он константой для данного металла?
4. Как влияют примеси на удельное сопротивление металлов? Сформулируйте правило Маттиссена.
5. Почему металлические сплавы типа твердых растворов обладают более высоким удельным сопротивлением, нежели чистые компоненты, образующие сплав?
6. Какие металлы относятся к тугоплавким и почему?
7. Что собой представляют сплавы константан и нихром?

Литература.

1. Физика твердого тела. Лабораторный практикум. Под ред. А.Ф. Хохлова, Том 2. Физические свойства твердых тел: Учебное пособие. - М.: Высшая школа, 2001 . - 484с.
2. Электротехнические и конструкционные материалы. Под ред. Филикова В.А.: Учебное пособие - М.: Мастерство: Высшая школа, 2000 . - 280 с.
3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники: Учебник. - СПб.: Изд. «Лань», 2002. - 368 с.
4. Материаловедение. Конструкционные и электротехнические материалы. Материалы и элементы электронной техники . Практикум к лабораторным работам : учеб.-метод. пособие / И.Л. Новиков, Р.П. Дикарева, Т.С. Романова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 56 с.

Лабораторная работа №6

Исследование диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках.

Цель работы: Определить зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках от температуры.

Требуемое оборудование: 1. Измеритель электропроводности ЛСМ1 – 1 шт.

2. Измерительные кассеты – 3 шт.

Теория.

Характерным для любого диэлектрика процессом, возникающим при воздействии на него электрического напряжения, является поляризация – ограниченное смещение связанных зарядов или ориентация дипольных молекул.

Поляризацией называется состояние диэлектрика, характеризующееся наличием электрического момента у любого элемента его объема.

Различают поляризацию, возникающую под действием внешнего электрического поля (наведенную или индуцированную), и спонтанную (самопроизвольную), существующую в отсутствие поля.

О явлениях, обусловленных поляризацией диэлектриков, можно судить по значению диэлектрической проницаемости, а также по величине диэлектрических потерь, если поляризация диэлектрика сопровождается рассеянием энергии.

Способность различных материалов поляризоваться в электрическом поле характеризуется **диэлектрической проницаемостью**:

$$\varepsilon = C_d / C_0, \quad (1)$$

где C_d – емкость конденсатора с данным диэлектриком, C_0 – емкость того же конденсатора, если бы между электродами находился вакуум.

Величина относительной диэлектрической проницаемости является безразмерной величиной.

Количественной характеристикой поляризации является **поляризованность** диэлектрика P . Поляризованностью называют векторную физическую величину, равную отношению электрического момента dp элемента диэлектрика к объему dV этого элемента

$$P = dp / dV \quad (2)$$

Рассматривая явления поляризации с учетом агрегатного состояния и структуры диэлектрика, следует различать следующие механизмы поляризации: электронный, ионный, дипольно – релаксационный, электронно – релаксационный, ионно – релаксационный, резонансный, миграционный и спонтанный.

К **мгновенным** видам поляризации относятся механизмы, протекающая в диэлектрике под воздействием электрического поля практически мгновенно, вполне упруго, без рассеяния энергии. К этому виду относятся **электронная** и **ионная** поляризации. Время установления этих механизмов ничтожно мало ($\sim 10^{-13} - 10^{-15}$ с).

К **замедленным** механизмам относятся те, когда поляризация нарастает и убывает замедленно, и сопровождается рассеянием энергии в диэлектрике, т. е. нагревом. Поляризация такого вида называется **релаксационной**. К этому виду относятся дипольно - релаксационная, ионно - релаксационная и электронно - релаксационная, а также миграционная поляризация, возникающая в твердых диэлектриках неоднородной структуры.

В зависимости от влияния напряженности внешнего электрического поля на величину диэлектрической проницаемости материала все диэлектрики делятся на **линейные** (рис.1а) и **нелинейные** (рис.1б).

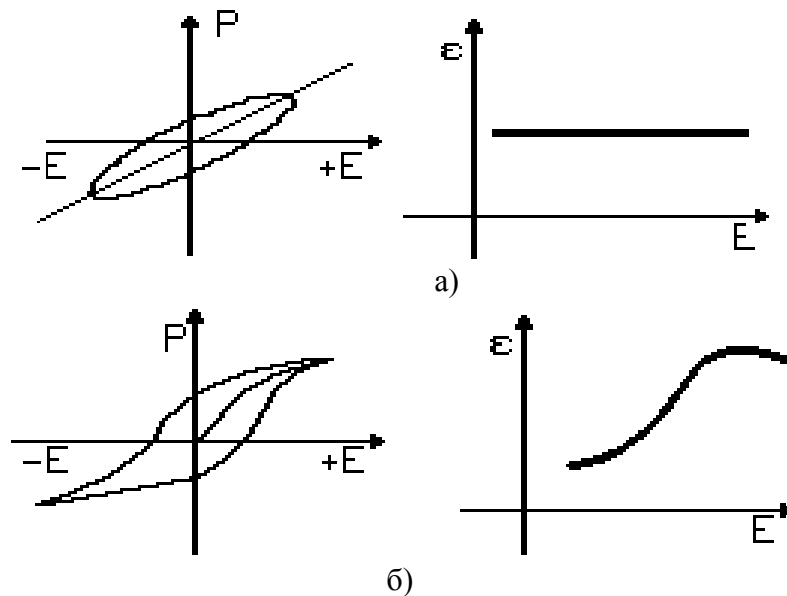


Рис.1. Зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля для линейных (1а) и нелинейных (1б) диэлектриков.

Линейные диэлектрики относят к *пассивным* диэлектрикам, применяемым в основном в качестве различных видов электрической изоляции или диэлектрика конденсаторов.

Нелинейные диэлектрики относят к *активным* диэлектрикам, параметры которых зависят от величины приложенной разности потенциалов. Емкостью конденсатора с нелинейным диэлектриком можно управлять электрическим полем.

В диэлектрике, помещенном в переменное электрическое поле, происходит некоторое выделение энергии. *Диэлектрическими потерями* называют энергию, рассеиваемую в единицу времени в диэлектрике при воздействии на него электрического поля и вызывающую нагрев диэлектрика.

Если бы в диэлектрике конденсатора мощность совсем не рассеивалась («идеальный диэлектрик»), то вектор тока I опережал бы вектор напряжения U точно на 90° , а ток был бы чисто реактивным I_C . Но в реальном диэлектрике наряду с реактивным током имеет место ток активный (ток потерь). Таким образом, полный ток, складывающийся из двух токов (активного и реактивного), опережает напряжение на угол φ , несколько меньший 90° , т.е. величина угла φ связана с величиной активного тока (тока потерь). Чем больше I_a , тем сильнее угол φ отклоняется от 90° . Но в качестве характеристики потерь взят не сам угол φ , а угол δ , дополняющий угол φ до 90° , т.е. $\delta = 90 - \varphi$.

Угол δ называют *углом диэлектрических потерь*. Чем больше этот угол, тем больше (при прочих равных условиях) диэлектрические потери.

Обычно в качестве параметра материала дают величину *тангенса угла потерь*. Очевидно, что тангенс угла потерь равен отношению активного и реактивного токов:

$$tg\delta = \frac{I_a}{I_C} \quad (3)$$

Легко получить выражение для величины диэлектрических потерь P в участке изоляции, обладающем емкостью C . Очевидно, что

$$P_a = UI_C tg\delta. \quad (4)$$

С учетом того, что значение силы тока через участок изоляции с емкостью C равно:

$$I_C = U\omega C$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, получим:

$$P_a = U^2\omega C tg\delta \quad (5)$$

Диэлектрические потери по их особенностям и физической природе делятся на четыре основных вида.

1. Потеря электропроводности.
2. Релаксационные потери.
3. Ионизационные потери.
4. Резонансные потери.

Диэлектрики, построенные из неполярных молекул (полиэтилен, полистирол) и обладающие только электронной поляризацией, имеют наименьшее значение диэлектрической проницаемости. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости неполярных диэлектриков определяется изменением числа молекул в единице объема. В диэлектриках, обладающих электронной поляризацией, диэлектрические потери невелики и обусловлены, как правило, только сквозной электропроводностью и наличием примесей.

Величина тангенса угла диэлектрических потерь может быть вычислена по следующей формуле

$$tg\delta = \frac{1,8 \cdot 10^{12}}{\epsilon \rho f} \quad (6)$$

где f – частота приложенного напряжения, Гц; ρ – удельное сопротивление диэлектрика.

Диэлектрические потери, обусловленные электропроводностью, возрастают с температурой по экспоненциальному закону вида

$$P_a = A \exp\left(-\frac{b}{kT}\right) \quad (7)$$

где A, b – const.

Диэлектрики, представляющие собой ионные кристаллы с плотной упаковкой частиц, обладают ионной и электронной поляризацией и имеют величину диэлектрической проницаемости, лежащую в широких пределах. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости ионных кристаллов в большинстве случаев имеет положительное значение, вследствие того что при повышении температуры наблюдается не только уменьшение плотности вещества, но и возрастание поляризуемости кристаллической решетки, причем влияние этого фактора сказывается на величине температурного коэффициента сильнее, чем изменение плотности

В кристаллических структурах с плотной упаковкой ионов (слоуда, кварц) при отсутствии примесей, искажающих решетку, диэлектрические потери весьма малы. При повышенных температурах в таких веществах появляются потери от электропроводности. В диэлектриках ионной структуры с неплотной упаковкой ионов (электротехнический фарфор) наблюдаются также потери, связанные с релаксационной поляризацией.

У диэлектриков с дипольными молекулами (поливинилхлорид, полиамиды, материалы на основе целлюлозы) зависимость от температуры проявляется значительно резче и характеризуется наличием максимума. В низкотемпературной области ориентация молекул в большинстве случаев невозможна из-за значительной вязкости. При повышении температуры ориентация диполей облегчается, что приводит к возрастанию диэлектрической проницаемости.

Исследуемые образцы

В данной работе для исследования используются образцы гетинакса, текстолита и стеклотекстолита, относящиеся к слоистым пластикам.

Слоистые пластики - это разновидность пластмасс, где связующим веществом служит полимер, а наполнителем – листовые волокнистые материалы. Наиболее широкое применение получили: стеклотекстолит, гетинакс и текстолит.

Гетинакс – листовой слоистый прессованный материал, состоящий из двух или более слоев бумаги, пропитанной терморезактивной смолой. Электротехнический гетинакс выпускают восьми марок. В зависимости от марки в качестве связующего вещества применяют фенолформальдегидные смолы или эпоксидную смолу типа ЭД - 16.

Гетинакс является анизотропным материалом, поэтому электрическая прочность гетинакса вдоль слоев в 5 - 8 раз ниже, чем поперек, а удельное сопротивление ниже в 50 - 100 раз. Гетинакс легко обрабатывается механически, а тонколистовые сорта хорошо штампуются, особенно в подогретом состоянии. Из гетинакса изготавливают детали радиотехнического и электротехнического назначения. Гетинакс используется для изготовления наиболее дешевых печатных плат.

Стеклотекстолит – слоистый прессованный материал, состоящий из двух или более слоев стеклоткани, пропитанной различными термореактивными связующими. Производят следующие марки: СТ - Б, СТ -1 на основе фенолоформальдегидной смолы; СТЭФ - 1 и СТЭФ - Р на эпоксидно - феноловом связующем; СТК - на кремнийорганическом связующем. Стеклотекстолит обладает повышенной влагостойкостью и лучшими электрическими и механическими параметрами по сравнению с текстолитом и гетинаксом, но хуже обрабатывается механически. Из стеклотекстолита изготавливают платы печатных схем, антенные обтекатели и другие радиодетали.

Текстолит – слоистый пластик, в котором в качестве наполнителя используют хлопчатобумажную ткань, пропитанную термореактивной смолой фенолформальдегидного типа. Выпускают четырех марок: А, Б, Г – на основе сравнительно грубых тканей – бязи и миткаля, и ВЧ (для высоких частот) – на основе шифона.

Дороже гетинакса, так как стоимость ткани значительно дороже стоимости бумаги. Листовой текстолит применяют как конструкционно-изоляционный материал для изделий, подвергающихся ударным нагрузкам или работающих на истирание (детали переключателей).

Методика проведения эксперимента

В настоящей работе используется измеритель индуктивности и емкости ЛСМ1 (рис. 2). С его помощью можно определить емкость конденсатора, индуктивность катушек, а также тангенс угла потерь.

Для включения прибора необходимо нажать кнопку «Сеть», при этом на передней панели загорится ряд индикаторов «Шкала», «Температура», «Канал», «С» и т.д.

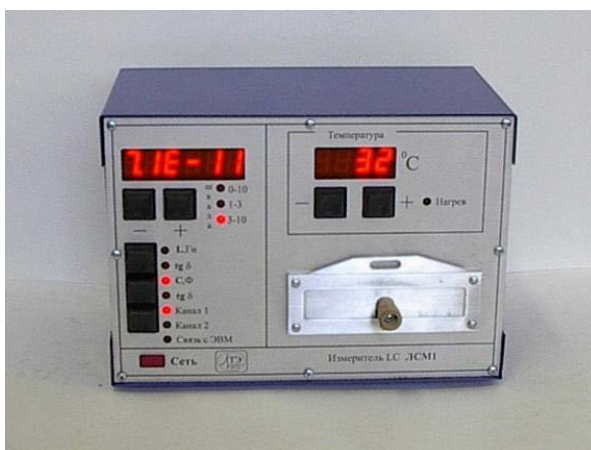


Рис.2. Измеритель индуктивности и емкости ЛСМ1.

Исследуемые образцы находятся в измерительной кассете ИК1. Для ее установки в прибор необходимо поднять шторку, установить кассету с образцами в термокамеру прибора до упора. При этом шторка должна опуститься.

Затем установите требуемый режим измерения (емкость С или тангенс угла потерь tgδ). Выберите требуемый диапазон измерений.

Установите требуемое значение температуры термокамеры. При первом нажатии кнопки на индикаторе «Температура» высветится установленное значение температуры. При повторном нажатии кнопки произойдет коррекция устанавливаемой температуры. Через 2 с после завершения установки индикатор «Температура» перейдет в режим отображения текущей температуры. Для отключения терморегулятора необходимо установить температуру менее 30⁰ С. При этом на экране высветится сообщение «OFF».

Сообщения, выдаваемые прибором

При работе прибора на индикаторе могут отображаться следующие сообщения:

- **L**– измеряемая величина *C* ниже выбранного диапазона;
- **H**– измеряемая величина *C* выше выбранного диапазона;
- **P**– измеряемое значение тангенса потерь *C* выше выбранного диапазона;
- **A**– при измерении активная составляющая больше реактивной ($tg\delta > 1$).

Зная величину емкости конденсатора, его геометрическую форму и размеры, можно вычислить величину диэлектрической проницаемости диэлектрика конденсатора.

$$\varepsilon = \frac{Ch}{\varepsilon_0 S} \quad (8)$$

где *h* – толщина образца, равна 4 мм; *S* – площадь верхнего электрода (радиус = 30 мм); $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Порядок выполнения работы

1. Установите картридж с образцом в прибор. При комнатной температуре измерьте *C* и $tg\delta$ диэлектрика на фиксированной частоте при комнатной температуре. Для этого установите требуемый канал для измерения. И выберите диапазон измерения *C* и $tg\delta$. По полученным результатам измерения рассчитать значение ε .
2. Провести измерение температурной зависимости $\varepsilon = f(T)$. Для этого установите требуемое значение температуры термокамеры. Измерения *C* и $tg\delta$ производите по следующему температурному ряду: комнатная, 40, 60, 80, 100⁰ С. **Рекомендуется соблюдать интервал между измерениями 10 мин для стабилизации показаний прибора при нагреве образца.** По полученным значениям рассчитать ε . По окончании измерений отключите терморегулятор. Для этого необходимо установить температуру менее 30⁰ С. При этом на экране высветится сообщение «OFF». **Осторожно выньте образец из термокамеры.**
3. Постройте график зависимости $\varepsilon = f(T)$. Для тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ построить зависимость $\ln(tg\delta) = f(1/T)$. Выполнив линейную аппроксимацию экспериментальных точек, по тангенсу угла наклона $tg\alpha$ определить эффективную энергию активации носителей заряда по формуле:

$$E_{ак} = ktg\alpha.$$
4. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ пп	Исследуемый материал	Т, ⁰ С	С, Ф	tgδ	ε

Контрольные вопросы

1. Поляризация. Типы поляризации.
2. Какие виды поляризации можно отнести к замедленным и почему?
3. Линейные и нелинейные, полярные и неполярные диэлектрики.
4. Что называется диэлектрической проницаемостью?
5. Диэлектрические потери. Виды диэлектрических потерь.
6. Каков физический смысл параметра $tg\delta$.

7. Охарактеризуйте исследуемые в работе диэлектрики. Справедливо ли утверждение, что они являются активными диэлектриками?

Литература.

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники: Учебник. - СПб.: Изд. «Лань», 2002. - 368 с.
2. Материаловедение. Конструкционные и электротехнические материалы. Материалы и элементы электронной техники. Методические указания к лабораторным работам №1-4 для студентов II курса ЭМФ, РЭФ/В.Н. Гаревский И.Л. Новиков, Р.П. Дикарева, Т.С. Романова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 74 с.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Контроль освоения студентом дисциплины осуществляется в рамках модульно-рейтинговой системы в ДМ, включающих текущую, промежуточную и итоговую аттестации.

По результатам текущего и промежуточного контроля составляется академический рейтинг студента по каждому модулю и выводится средний рейтинг по всем модулям.

По результатам итогового контроля студенту засчитывается трудоемкость дисциплины в ДМ, выставляется дифференцированная отметка в принятой системе баллов, характеризующая качество освоения студентом знаний, умений и навыков по данной дисциплине.

В соответствии с учебным планом предусмотрен экзамен во 2-м семестре.

Формы контроля: текущий контроль, промежуточный контроль по модулю, итоговый контроль по дисциплине предполагают следующее распределение баллов.

Текущий контроль:

- посещаемость занятий 5 баллов
- активное участие на занятиях 25 баллов
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ 5 баллов
- написание и защита рефератов 5 баллов

Максимальное суммарное количество баллов по результатам текущей работы для каждого модуля – 40 баллов.

Промежуточный контроль освоения учебного материала по каждому модулю проводится преимущественно в форме тестирования.

Максимальное количество баллов за промежуточный контроль по одному модулю - 60 баллов. Результаты всех видов учебной деятельности за каждый модульный период оценивается рейтинговыми баллами.

Минимальное количество средних баллов по всем модулям, которое дает право студенту на положительные отметки без итогового контроля знаний:

- от 51 до 69 балла – удовлетворительно
- от 70 до 84 балла – хорошо
- от 85 до 100 балла – отлично
- от 51 и выше - зачет

Итоговый контроль по дисциплине осуществляется преимущественно в форме тестирования по балльно-рейтинговой системе, максимальное количество которых равно – 100 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется в баллах. Удельный вес итогового контроля в итоговой оценке по дисциплине составляет 30%, среднего балла по всем модулям 70%.

Критерии оценок следующие:

- 100 баллов – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.
- 90 баллов - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.
- 80 баллов - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.
- 70 баллов - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.
- 60 баллов – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.
- 50 баллов – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.
- 40 баллов – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.
- 20-30 баллов - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.
- 10 баллов - студент имеет лишь частичное представление о теме.
- 0 баллов – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-балльную систему:

- «0 – 50» баллов – неудовлетворительно
- «51 – 65» баллов – удовлетворительно
- «66 - 85» баллов – хорошо
- «86 - 100» баллов – отлично
- «51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники – М.: Высшая школа, 1986, 367 С.
2. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники – СПб: Изд – во «Лань», 2002, 368 С.
3. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарев Н.П. Материалы и элементы электронной техники. В 2 – х томах – М.: Издательский центр «Академия», 2006, 384 С.
4. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Материалы и компоненты электронной техники» Офицера Н.В., Садыков С.А., Махмудова К.А., Исмаилова Н.П. Махачкала, ИПЦ ДГУ, 2007 г. 63 С.
5. Методическое пособие к лабораторным работам по курсу «Материалы электронной техники» Махачкала, ИПЦ , 2014 г., Офицера Н.В., Савина В.И., Агабекова Ф.Б., 58 С.

б) дополнительная литература:

1. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков – М.: МИСИС, 2003, 480 С.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы- Л.: Энергоатомиздат, 1985, 332 С.
3. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева – Л.: Энергоатомиздат; т.1, 1986; т.2 1987; т.3, 1988.
4. Щука А.А. Электроника – СПб.: БХВ - Петербург, 2008 – 752 С.
5. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков – М.: Металлургия, 1988, 418 С.
6. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Под ред. Чередниченко В.С. – М.: Издательство «Омега – Л», 2008, 752 С.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fero.ru).
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>

6. www.biblioclub.ru - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
7. www.iqlib.ru - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. www.affp.mics.msu.su

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студенту предоставляется возможность работать во время учебы более самостоятельно, чем учащимся в средней школе. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины..

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин, учебный план и расписание занятий вывешивается на 2-м этаже учебного корпуса. Рекомендуется не только ознакомиться с этими документами, но и изучить их.

Ежедневной учебной работе студенту следует уделять 9-10 часов своего времени, т.е. при 6 часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3-4 часа.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Работа во время выполнения лабораторных занятий

При выполнении лабораторных занятий студенты получают необходимые данные, во многом дополняющие учебники (иногда даже их

заменяющие с последними достижениями науки). Умение тщательно подготовиться к эксперименту во время выполнения лабораторной работы, так и само выполнение эксперимента является непременным условием их глубокого и прочного усвоения, а также развития умственных способностей.

Внимание человека неустойчиво. Требуются волевые усилия, чтобы оно было сосредоточенным. Конспект лабораторной работы является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное, а также в процессе выполнения лабораторного эксперимента. Это должно быть сделано самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лабораторную работу. Такое "конспектирование" приносит больше вреда, чем пользы.

Запись лабораторной работы можно выполнять в виде конспекта и тезисов, но особое внимание следует уделить порядку выполнения работы и контрольным вопросам. Желательно записи осуществлять в одной тетради с выполнением и оформлением полученных результатов. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: "важно", "особо важно", "хорошо запомнить" и т.п. Целесообразно разработать собственную "маркографию" (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лабораторной работы, всегда используй не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

Методические рекомендации для преподавателя

Одной из задач преподавателя, ведущего занятия по дисциплине, является выработка у бакалавров осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей работы их инженерами-исследователями, при организации современного производства высококачественной, конкурентоспособной продукции.

Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения. Принципами организации учебного процесса являются:

- выбор методов преподавания в зависимости от различных факторов, влияющих на организацию учебного процесса;
- объединение нескольких методов в единый преподавательский модуль в целях повышения эффективности процесса обучения;
- активное участие слушателей в учебном процессе;
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Используемые методы преподавания: лекционные занятия с использованием наглядных пособий и раздаточных материалов; метод «мозгового штурма», индивидуальные и групповые задания при проведении практических занятий.

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями СТП. С целью более эффективного усвоения бакалаврами материала данной дисциплины рекомендуется при проведении лекционных занятий использовать наглядные пособия и раздаточные материалы. Для более глубокого изучения предмета бакалаврам представляется информация о возможности использования Интернет-ресурсов по разделам дисциплины.

Для контроля знаний бакалавров по данной дисциплине необходимо проводить рубежный и итоговый контроль.

Рубежный контроль. Бакалаврами по изученной дисциплине выполняются контрольные и лабораторные работы.

Контрольное тестирование. Этот метод включает в себя задания по всем темам раздела рабочей программы дисциплины.

Итоговый контроль осуществляется в виде отчета по выполнению лабораторных работ в конце семестра.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Подготовка к лабораторным работам	Написание конспекта лабораторной работы: последовательно изложить теоретические основы изучаемого эффекта, явления или параметра; описать порядок выполнения лабораторной работы и схему обработки результатов, записать основные формулы; очертить круг контрольных вопросов, касающихся лабораторной работы и ее выполнения. Подготовить ответы на контрольные вопросы с помощью учебников, конспектов лекций, справочников с

	выписыванием в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, которые вызывают трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю в процессе выполнения лабораторных работ.
Выполнение лабораторных работ	Работа с конспектом лабораторной работы, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Изучение стенда или установки, на которой выполняется лабораторная работа. Проработка плана выполнения эксперимента, уделяя особое внимание задачам по достижению заданной цели. Выполнение эксперимента путем аккуратного многократного (не менее 3 – х) снятия показаний приборов
Оформление полученных результатов	Анализ полученных результатов и проведение вычислений с помощью соответствующих формул, уравнений, законов. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др. Построение графиков и проведение необходимых расчетов с учетом информации, полученных из них. Приветствуется использование справочной информации для выполнения расчетов и сравнения с эталонными величинами.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Выполнение и оформление результатов лабораторных работ по материалам электронной техники в среде MathCadi Excel.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить бакалавров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лабораторные занятия проводятся в аудиториях 2 - 37, 2 – 41, оснащенных стендами по соответствующим блокам изучаемых дисциплин.