

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Радиоматериалы и радиокомпоненты

Образовательная программа: 11.03.01 Радиотехника, профиль: Радиотехнические средства
передачи, приема и обработки сигналов

Курс: 2, семестр : 3

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	3
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	2
2	Всего часов	72
3	Всего занятий в контактной форме, час.	58
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	28
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	2
10	Самостоятельная работа, час.	14
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ
12	Вид аттестации	3

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.01 Радиотехника

ФГОС введен в действие приказом №179 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 20.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, базовая

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.01 Радиотехника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

КТРС, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

старший преподаватель, Бизяев А. А.

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Синельников А. В.

Ответственный за образовательную программу:

декан Хрусталеv В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:
32. знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты
Компетенция ФГОС: ОПК.5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных; в части следующих результатов обучения:
у2. уметь интерпретировать результаты исследования радиоматериалов и радиокомпонентов, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
---	---------------------------

Радиоматериалы и радиокомпоненты

ОПК.2.32 знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты	
1.Иметь представление о материалах используемых в радиокомпонентах	Лекции; Самостоятельная работа
2.Иметь представление об основных тенденциях в разработке и о месте новых материалов в развитии науки, техники и технологии	Лекции; Самостоятельная работа
3.Иметь представление о принципах классификации материалов по свойствам и техническому назначению	Лекции; Самостоятельная работа
4.Иметь представление о назначении, особенностях стандартных пассивных элементов электроники	Лекции; Самостоятельная работа
5.Иметь представление об использовании новейших достижений науки и техники в разработке, исследовании и контроле материалов электронной техники	Лекции; Самостоятельная работа
6.Знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
7.Знать физическую сущность процессов, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах в различных условиях эксплуатации	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
8.Знать свойства различных групп материалов: диэлектриков, полупроводников, проводников, магнитных материалов, их зависимость от технологии получения	Лекции; Самостоятельная работа
9.Знать методы конструирования нестандартных радиокомпонентов	Лекции; Самостоятельная работа
10.Знать основные характеристики материалов: электрические, оптические, тепловые, механические и т. д.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
11.Знать эквивалентные схемы электронных компонентов с учётом паразитных параметров	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
12.Знать учёт реальных условий работы электронных компонентов	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ОПК.5.у2 уметь интерпретировать результаты исследования радиоматериалов и радиокомпонентов, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов	
13.Знать об основных эксплуатационных характеристиках материалов при использовании их в современной электронной аппаратуре	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
14.Уметь проводить анализ условий работы элементов и разработать меры по повышению надёжности	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
15.Уметь использовать основы теории твердого тела для постановки и решения задач описания процессов, происходящих в различных материалах	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
16.Уметь выдвигать и проверять гипотезы, делать обоснованный выбор методов исследования свойств материалов электронной техники	Лабораторные работы; Самостоятельная работа

17. Уметь планировать проведение эксперимента на лабораторных занятиях, уметь проводить предварительный анализ ожидаемых результатов, правильно выставлять пределы измерений на измерительных приборах	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
18. Уметь использовать справочный материал по выбору требуемых материалов для конкретных устройств	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
19. Уметь прогнозировать изменение свойств материалов при изменении внешних условий или воздействий: давления, температуры, электрических и магнитных полей, освещения, радиационных воздействий.	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
20. Уметь интерпретировать полученные результаты своей деятельности, критически оценивать результаты расчётов и экспериментов	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
21. Уметь определять надёжность, стабильность и воспроизводимость характеристик материалов и элементов при наличии внешних воздействий.	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
22. Уметь анализировать полученные результаты, высказывать гипотезы о возможном несовпадении результатов предварительных расчётов и экспериментов	Лабораторные работы; Самостоятельная работа
23. Уметь интерпретировать результаты исследования радиоматериалов и радиокомпонентов, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов	Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Радиокомпоненты				
1. Пассивные элементы радиоэлектронной промышленности	2	4	1, 4, 6, 9	Активные элементы радиоэлектронной промышленности
2. Активные элементы радиоэлектронной промышленности	2	6	1, 10, 11, 12, 2, 6, 7, 8, 9	Активные элементы радиоэлектронной промышленности
Дидактическая единица: Радиоматериалы				
3. Роль и значение материалов в производстве приборов электронной техники	1	2	1, 2	Роль и значение материалов в производстве приборов электронной техники
4. Классификация материалов электронной промышленности	2	4	3	Классификация материалов электронной промышленности
5. Основные понятия и определения о материалах используемых в радиоэлектронной промышленности	4	4	1, 2, 3, 4, 5, 6	Обсуждение радиоматериалов радиоэлектронной промышленности
6. Материалы используемые в технологии производства РЭС	2	4	1, 12, 13, 2, 3, 6	Материалы используемые в технологии производства РЭС
Дидактическая единица: Физические явления				
7. Физические процессы в полупроводниках, проводниках и диэлектриках	2	6	19, 7	Физические процессы в полупроводниках, проводниках, диэлектриках и сверхпроводниках
8. Физические процессы в магнитных материалах	2	4	19, 5, 8	Физические процессы в магнитных материалах
9. Физические процессы в оптических материалах	7	2	1, 10, 13, 2, 3, 9	Физические процессы в оптических материалах

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Радиокomпоненты				
1. Лабораторная работа №1	1	4	10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 6, 7	Лабораторная работа №1
2. Лабораторная работа №2	1	4	10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 6, 7	Лабораторная работа №2
3. Лабораторная работа №3	1	4	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 6, 7	Лабораторная работа №3
4. Лабораторная работа №4	1	6	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 6, 7	Лабораторная работа №4

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 3				
1	Расчет фазовой диаграммы двухкомпонентной системы	10, 12, 9	6	0
: Радиоматериалы и радиокomпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокomпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar Материаловедение : конструкционные и электротехнические материалы : материалы и элементы электронной техники : методические указания к лабораторным работам № 1-4 для 2 курса ЭМФ, РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. Н. Гаревский и др.]. - Новосибирск, 2009. - 71, [3] с.				
2	Подготовка к занятиям	1, 10, 11, 12, 13, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	2	0
: Радиоматериалы и радиокomпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокomпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar Материаловедение : конструкционные и электротехнические материалы : материалы и элементы электронной техники : методические указания к лабораторным работам № 1-4 для 2 курса ЭМФ, РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. Н. Гаревский и др.]. - Новосибирск, 2009. - 71, [3] с.				
3	Дополнительная учебная деятельность	1, 10, 11, 12, 13, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	0	0

: Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar> Материаловедение : конструкционные и электротехнические материалы : материалы и элементы электронной техники : методические указания к лабораторным работам № 1-4 для 2 курса ЭМФ, РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. Н. Гаревский и др.]. - Новосибирск, 2009. - 71, [3] с.

4	Подготовка к аттестации	1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 2, 20, 21, 22, 23, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	6	2
---	-------------------------	---	---	---

: Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar> Материаловедение : конструкционные и электротехнические материалы : материалы и элементы электронной техники : методические указания к лабораторным работам № 1-4 для 2 курса ЭМФ, РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. Н. Гаревский и др.]. - Новосибирск, 2009. - 71, [3] с.

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail:bizyaev@corp.nstu.ru; Социальные сети: http://vk.com/ktrs_mikes
Консультирование	e-mail:bizyaev@corp.nstu.ru; Социальные сети: http://vk.com/ktrs_mikes
Контроль	e-mail:bizyaev@corp.nstu.ru; Социальные сети: http://vk.com/ktrs_mikes
Размещение учебных материалов	e-mail:bizyaev@corp.nstu.ru; Социальные сети: http://vk.com/ktrs_mikes

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм
1	Дискуссия
Краткое описание применения:	
2	Метод проектов
Краткое описание применения:	
3	Проблемный метод
Краткое описание применения:	

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 3		
Лабораторная №2: Лабораторная работа №1	5	10
Контролирующие материалы приводятся в "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar		
Лабораторная №3: Лабораторная работа №2	5	10
Контролирующие материалы приводятся в "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar		
Лабораторная №4: Лабораторная работа №3	5	10
Контролирующие материалы приводятся в "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar		
Лабораторная №5: Лабораторная работа №4	5	10
Контролирующие материалы приводятся в "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar		
РГЗ:	20	40
Контролирующие материалы - список вопросов		
Зачет:	10	20
Контролирующие материалы - список вопросов		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
		Защита РГЗ	Зачет
ОПК.2	з2. знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты	+	+
ОПК.5	у2. уметь интерпретировать результаты исследования радиоматериалов и радиокомпонентов, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 4 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : учебное пособие для вузов / К. С. Петров. - СПб. [и др.], 2006. - 521 с. : ил.

2. Новожилов О. П. Электротехника и электроника : учебник для бакалавров / О. П. Новожилов. - М., 2012. - 652, [1] с.
3. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : [учебное пособие для вузов по направлению подготовки бакалавров и магистров "Электроника и микроэлектроника" и по направлению подготовки дипломированных специалистов "Электроника и микроэлектроника"] / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - М., 2006. - 478, [1] с. : ил.
4. Журавлева Л. В. Электроматериаловедение : учебник / Л. В. Журавлева. - М., 2008. - 350, [1] с. : ил.

Дополнительная литература

1. Травин О. В. Материаловедение : учебник для вузов / О. В. Травин, Н. Т. Травина. - М., 1989. - 384 с.
2. Гусев В. Г. Электроника : учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. - М., 1991. - 622 с. : ил.
3. Покровский Ф. Н. Материалы и компоненты радиоэлектронных средств : учебное пособие для вузов по специальности 201600 - "Радиоэлектронные системы" / Ф. Н. Покровский. - М., 2005. - 350 с. : ил.
4. Батаев А. А. Методические указания к расчетно-графической работе № 1 по курсу "Композиционные материалы" для 4 курса МТФ дн. обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т; Сост. : А. А. Батаев и др. - Новосибирск, 1998. - 17с.
5. Пасынков В. В. Материалы электронной техники : учебник для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики", "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы" / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. - М., 1986. - 367 с. : ил.
6. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы : Учебник для электротехн. и энерг. спец. вузов / Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М. - Л., 1985. - 304 с. : ил.
7. Батаев А. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение : [учебник] / А. А. Батаев, В. А. Батаев. - Новосибирск, 2002. - 383 с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000018695

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Материаловедение : конструкционные и электротехнические материалы : материалы и элементы электронной техники : методические указания к лабораторным работам № 1-4 для 2 курса ЭМФ, РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: В. Н. Гаревский и др.]. - Новосибирск, 2009. - 71, [3] с.
2. Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств : методические указания к лабораторным работам 1-4 по курсу "Радиоматериалы и радиокомпоненты электронных средств" для групп РТ факультета РЭФ дневной и заочной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: А. С. Волохин, Д. Н. Клименко]. - Новосибирск, 2008. - 49, [2] с. : ил., табл., схемы. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2008/3595.rar>

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 MathCAD

9. Материально-техническое обеспечение

Лабораторный стенд

№	Наименование	Назначение
1	ВОЛЬТМЕТР В7-34А	измерение напряжения
2	Измеритель ВМ 591	измерение напряжения

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ” Г.

Радиоматериалы и радиокомпоненты

Факультет радиотехники и электроники

Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Тема	Код формируемой компетенции	Знания/умения	Контролирующее мероприятие (экзамен, зачет, курсовой проект и т.п.)
Основные понятия и определения о материалах используемых в радиоэлектронной промышленности	ОПК.2	з2. знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты	Зачет
Физические явления в радиоматериалах		з2. знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты	Зачет
Радиокомпоненты	ОПК.2 ОПК.5	з2. знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты у1. уметь интерпретировать результаты исследования радиоматериалов и радиокомпонентов, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов	Зачет

Комплект заданий для зачета

по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты»

1. Классификация материалов в зависимости от применения и функциональных возможностей. Конструкционные и функциональные материалы. Металлы и сплавы, полупроводниковые и диэлектрические материалы, материалы с особыми свойствами: магнитные, сегнетоэлектрики, для оптоэлектроники, сверх- и гиперпроводящие. Твёрдые, жидкие, газообразные материалы- примеры.
2. Особые требования к материалам и технологии полупроводникового производства.
3. Проводящие, полупроводниковые и диэлектрические материалы для тонкоплёночной и толстоплёночной технологии.
4. Виды химических связей в твердых материалах. Структурные модификации твёрдых материалов (аморфные, поликристаллические, текстурированные, монокристаллы). Примеры использования монокристаллических материалов. Полиморфизм.
5. Строение кристаллических материалов. Кристаллическая решётка, основные параметры кубической (разновидности), гексагональной. Решётка типа алмаза. Понятие элементарной ячейки, координационное число, постоянная решётки. Плотность упаковки. Наиболее плотно упакованные виды решёток.
6. Кристаллографические плоскости и направления. Индексы Миллера. Обозначение основных кристаллографических плоскостей кубических решёток.
7. Дефекты: точечные, линейные, плоские, объёмные. Причины появления, влияние на электрические и механические свойства материалов. Сравнительный анализ влияния точечных дефектов на металлы и полупроводники. Примеры влияния термомеханических обработок на образование и исчезновение структурных дефектов.

8. Металлы. Электрические и механические характеристики. Электропроводность (удельное сопротивление), факторы, влияющие на эти характеристики, средняя тепловая и дрейфовая скорость, средняя длина свободного пробега. Зависимость удельного сопротивления от температуры. Оценка концентрации электронов, исходя из концентрации атомов, связь между концентрацией электронов и энергией Ферми.
9. Электропроводность металлов на высоких частотах. Оценка глубины проникновения в зависимости от удельного сопротивления и частоты. Изменение удельного сопротивления круглых и плоских проводников от частоты. Основные металлы высокой проводимости, основные области применения. Примеры.
10. Сплавы. Влияние примесей на электропроводность металлов. Понятие остаточного удельного сопротивления и его зависимость от валентности примеси. Правило Матиссена. Влияние концентрации компонентов на удельное сопротивление сплава (закон Нордгейма). Сравнение температурного коэффициента металлов и сплавов.
11. Какие материалы и в каких условиях переходят в сверхпроводящее состояние? Как магнитное поле влияет на критическую температуру перехода в сверхпроводящее состояние?
12. Чем отличаются сверхпроводники I и II рода? Что является причиной образования Куперовских пар?
13. Сравнительный анализ зонных энергетических структур металлов и полупроводников. Понятие вырожденного и невырожденного электронного газа. Критерии вырождения, отличие.
14. Собственный полупроводник. Примесные полупроводники. Оценка концентрации собственных, основных и не основных носителей заряда. Подвижность, факторы, влияющие на ее величину. Время жизни, диффузионная длина, от чего они зависят? Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии электронов и дырок. Зависимость удельного сопротивления от степени легирования и температуры. Чем определяется

рабочий температурный диапазон полупроводниковых приборов, как он зависит от уровня легирования? Что такое «компенсированный полупроводник»?

15. Искривление энергетических зон на поверхности при наличии поверхностных зарядов, приводящее к обогащению поверхности электронами или дырками. Понятие инверсии и возможные последствия этого явления.

16. Магнитные свойства материалов. Диамагнитные, парамагнитные, ферромагнитные, антиферромагнитные и ферримагнитные материалы. Магнитодиэлектрики. Что определяет высокие магнитные характеристики ряда переходных металлов и ферримагнетиков и парамагнитные свойства у других.

17. Основные магнитные характеристики (намагниченность, магнитная индукция, начальная магнитная проницаемость и проницаемость, зависящая от величины магнитного поля), основная кривая намагничивания, гистерезисные явления. Коэрцитивная сила, остаточная индукция. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Потери в переменных полях на низких и высоких частотах.

18. Сущность внутреннего геттерирования, обоснование выбора одно- или двухстадийного зародышеобразования

19. Анализ диаграмм плавкости, объяснение кинетики затвердевания и расплавления эвтектических сплавов.

20. Газообразные, жидкие, твёрдые диэлектрики, применяемые в радиоэлектронике. Классификация твёрдых диэлектриков (ионные, молекулярные, аморфные). Механизм объёмной и поверхностной э/п. Понятие полного сопротивления изоляции. Э/п монокристаллических диэлектриков. Влияние внешних условий и приложенного напряжения на величину поверхностной и объёмной э/п.

21. Поляризация твёрдых диэлектриков. Механизм. Диэлектрическая проницаемость. Линейные и нелинейные диэлектрики. Сегнетоэлектрики.

Зависимость диэлектрической проницаемости от поля, температуры и частоты. Пьезоэлектрики. Пирозэлектрики. Электреты.

22. Виды потерь. Эквивалентная схема для анализа потерь. Механизм потерь (электронная и ионная и ионная составляющие, релаксационные потери, старение). Зависимость потерь от частоты, тангенс диэлектрических потерь, его зависимость от температуры. Эквивалентные схемы для анализа частотной зависимости тангенса диэлектрических потерь в реальных конденсаторах. Зависимость энергии диэлектрических потерь от величины приложенного ВЧ-напряжения и параметров диэлектрика.

23. Пробой в газах, жидких и твёрдых диэлектриках. Виды пробоя в твёрдых диэлектриках (электрический, ионизационный, тепловой). Пробивное напряжение и пробивная напряжённость поля.

24. Особенности проводниковых, резистивных, диэлектрических и магнитных плёночных материалов для микроэлектроники и оптоэлектроники. Зависимость характеристик от метода получения : тонкоплёночная технология (вакуум-термическое испарение, катодное распыление); толстоплёночная технология.

Дополнительные вопросы

Металлы и сплавы

1. Чем отличаются зонные структуры металлов, полупроводников и диэлектриков?
2. Какими свойствами обладает «электронный газ » в состоянии вырождения?
3. Как влияет температура на концентрацию электронов в металлах?
4. Что называют температурным коэффициентом удельного сопротивления? Является ли он константой для данного металла?
5. Как влияют примеси на удельное сопротивление металла? Сформулировать правило Матиссена.

6. Что такое дрейфовая и тепловая скорости электронов?
7. Как плотность тока связана с дрейфовой скоростью и концентрацией электронов?
8. Как оценить концентрацию электронов в металле?
9. Как влияет температура на среднюю длину свободного пробега электронов?
10. Как изменяется температурный коэффициент сопротивления в сплавах по сравнению с чистыми металлами, входящими в сплав.
11. Почему при термической закалке сопротивление металлов возрастает, а при отжиге уменьшается?
12. Почему удельное сопротивление тонких плёнок зависит от толщины.
13. Почему сопротивление проводника изменяется на высоких частотах?
14. Как изменится сопротивление проводника круглого сечения на ВЧ?
15. Как зависит глубина проникновения от электрофизических характеристик проводника и от частоты?

Полупроводниковые материалы

1. Почему электроны из валентной зоны переходят в зону проводимости, хотя их средняя тепловая энергия значительно ниже ширины запрещённой зоны полупроводника?
2. Почему в полупроводниках энергия ионизации примесных уровней (донорных или акцепторных) уменьшается в десятки раз?
3. В чём различие между вырожденным и невырожденным электронным газом?
4. Во сколько раз отличаются средние тепловые скорости электронов проводимости в металлах и полупроводниках (оценка)?
5. Чем определяется предельная рабочая температура полупроводниковых приборов

Магнитные материалы

1. Что такое коэрцитивная сила?
2. Чем отличаются магнитомягкие от магнитотвёрдых материалов?

3. Почему выгодно использовать для магнитопроводов пакеты изолированных пластин и материалы с высоким удельным сопротивлением.
4. Что такое ферриты?

Диэлектрические материалы

1. Чему равна количественно поляризация диэлектрика?
2. Почему в диэлектриках электроны практически не участвуют в электропроводности?
3. Чем отличается механизм электропроводности в газах и диэлектриках?
4. Почему поры в твёрдых диэлектриках снижают пробивную напряжённость диэлектрика?

Критерии оценки

Задание состоит из 3 вопросов

Задание считается выполненным, если есть ответ на все вопросы.

Вопросы оцениваются в баллах:

1 – 0-10 баллов

2 – 0-5 балла

3 – 0-5 балла

При выставлении оценки вопросов баллы суммируются и выставляется общий балл. Максимально возможное количество баллов, которое можно набрать на зачете: 20. При градации баллов по вопросам оценивается точность изложения материала, уверенность при защите.

Составитель _____ А.А. Бизяев

(подпись)

«___» _____ 201 г.

Материаловедение и материалы электронных средств

Методические указания к лабораторным работам № 1–2
по курсу «Материаловедение и материалы электронных средств»
для студентов групп РК факультета РЭФ
дневной формы обучения
(часть I)

УДК 621.315.4

Составители:

Волохин А.С., ассистент,

Клименко Д.Н., ассистент,

Плавский Л.Г., к.т.н., профессор,

Южаков В.В., к.т.н., с.н.с.

Руководство к лабораторным работам по курсу «Материаловедение и материалы электронных средств». Новосибирск: издательство НГТУ, 2007, 33с.

Рецензент: Денисов А.Н., доцент

Работа подготовлена кафедрой
конструирования и технологии радиоэлектронных средств.

© Новосибирский государственный
технический университет, 2007.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

1 Цель работы

Экспериментальное определение температурной зависимости удельного сопротивления проводниковых материалов и температурной зависимости термо-ЭДС термопар.

1 Теоретическая часть работы

1.1 Проводниковые материалы

К проводникам относят материалы, удельное электрическое сопротивление которых в нормальных условиях лежит в диапазоне $10^{-8} \dots 10^{-5}$ $\Omega \cdot \text{м}$. Основными электрическими характеристиками проводниковых материалов являются:

- 1 Удельное электрическое сопротивление ρ , $\Omega \cdot \text{м}$;
- 2 Температурный коэффициент удельного сопротивления α_ρ , $1/T$;

Наилучшими проводниками электрического тока являются металлы, а наилучшим проводником среди металлов является серебро с удельным сопротивлением $\rho_{\text{Ag}} = 0.0159 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ при 0°C .

В металлах проявляется особый тип связи – металлическая связь (рис. 1). Валентные электроны в атомах металлов сравнительно слабо связаны с ядром. При образовании жидкого и твердого состояния атомы располагаются настолько близко, что электроны приобретают способность покидать свои атомы и свободно перемещаться внутри решетки. Возникает однородное распределение отрицательного заряда среди положительно заряженных атомных остатков.

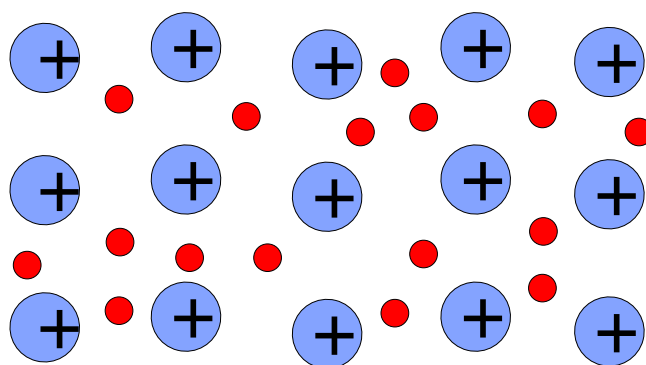


Рис.1. Металлическая химическая связь

Металлическая связь обусловлена взаимодействием всей массы свободных (обобществленных) электронов с положительными атомными остовами.

Положительные ионы, находящиеся в узлах решетки, отталкиваются, сила отталкивания (энергия отталкивания) увеличивается с уменьшением расстояния между ними, но при этом увеличивается плотность электронного газа, увеличивается сила взаимодействия между электронами и положительными ионами, стягивающая ионы. Устойчивое равновесное состояние отвечает такому расстоянию между положительными ионами, когда взаимно уравниваются силы притяжения силами отталкивания.

Не имея локализованных связей, металлические кристаллы не разрушаются при изменении положений атомов, т. е. им свойственна пластичность (ковкость) при деформациях. Благодаря наличию свободных электронов металлы обладают высокими электро- и теплопроводностью.

Механизм протекания тока в металлах состоит в коллективном движении свободных электронов под действием приложенного электрического поля. В процессе направленного движения электроны испытывают рассеяние на статических и динамических дефектах структуры.

К статическим дефектам структуры откосятся примеси, вакансии, междоузельные атомы, границы зерен и т. п. К динамическим – тепловые колебания ионов в узлах кристаллической решетки. Интенсивность рассеяния

определяет среднюю длину свободного пробега электрона и, в конечном счете, значение удельного сопротивления проводника, которое может быть вычислено следующим образом

$$\rho = \frac{m_0 \bar{u}}{e^2 n \bar{\ell}}, \quad (1)$$

где $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $m_0 = 9,1093826 \cdot 10^{-31}$ Кг – масса электрона, n – концентрация электронов $1/\text{м}^3$, $\bar{u}$ – средняя скорость теплового движения м/с, $\bar{\ell}$ – средняя длина свободного пробега электронов, м.

В соответствии с атомно-кинетической теорией идеальных газов средняя кинетическая энергия электронов, находящихся в состоянии непрерывного хаотического движения, линейно возрастает с температурой

$$\frac{m_0 \bar{u}^2}{2} = \frac{3}{2} kT, \quad (2)$$

где $k = 1,3806505 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, физическая постоянная, определяющая связь между температурой и энергией.

Если считать, что все атомы в металлах ионизированы однократно, то концентрация свободных электронов будет равна концентрации атомов и может быть рассчитана по формуле

$$n = \frac{d}{M} N_A, \quad (3)$$

где d – плотность атомов, $\text{г}/\text{м}^3$, M – масса 1 моля атомов вещества, $\text{г}/\text{моль}$, $N_A = 6.022045 \cdot 10^{23}$ 1/моль – число Авогадро, количество структурных элементов (атомов, молекул, ионов и др.) в 1 моле вещества.

Электронный газ в металлах находится в вырожденном состоянии. Поэтому концентрация электронов и средняя скорость их теплового движения слабо зависят от температуры. Но с повышением температуры увеличиваются амплитуды колебаний ионов в узлах кристаллической решетки, что приводит к более интенсивному рассеянию электронов в процессе их направленного движения. Соответственно уменьшается средняя длина свободного пробега и

возрастает удельное электрическое сопротивление.

Удельное сопротивление не зависит от геометрических параметров проводника. От свойств проводника зависит электрическое сопротивление

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (4)$$

где l – длина проводника, м, S – площадь поперечного сечения проводника, м^2 .

1.2 Температурный коэффициент удельного сопротивления

Введем понятие температурного коэффициента. Температурный коэффициент α какого-либо параметра z материала (или радиоэлектронного компонента) – это логарифмическая производная этого параметра по температуре

$$\alpha_z = \frac{1}{z} \frac{dz}{dT} = \frac{d}{dT} \ln z, \quad (5)$$

где α_z – температурный коэффициент параметра z материала, K^{-1} .

Размерность α обратна размерности температуры и все α выражаются в K^{-1} . Положительный знак α_z при $z > 0$ соответствует случаю, когда z при возрастании T в окрестностях данной точки возрастает и наоборот.

Удельное сопротивление металлов при повышении температуры возрастает. Следовательно, температурный коэффициент удельного сопротивления

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} \geq 0 \quad (6)$$

В области линейной зависимости $\rho(T)$ справедливо выражение

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha_\rho (T - T_0)], \quad (7)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при температуре T_0 ; ρ – удельное сопротивление при температуре T .

1.3 Металлические сплавы

В технике широко применяются металлические сплавы, имеющие структуру твердого раствора, т.е. при отвердевании такие вещества создают совместную кристаллизацию, и атомы одного вещества входят в кристаллическую решетку другого. Многие металлы, имеющие одинаковый тип кристаллической структуры, смешиваются в любых пропорциях, т.е. образуют непрерывный ряд твердых растворов. Вместе с тем, существует немало металлических систем, компоненты которых обладают ограниченной взаимной растворимостью или вообще не растворимы в твердой фазе.

Статическое распределение атомов различных сортов по узлам кристаллической решетки вызывает значительные флуктуации периодического поля кристалла, что, в свою очередь, приводит к сильному рассеянию электронов. Как и в случае металлов, полное сопротивление сплава можно выразить в виде суммы двух слагаемых:

$$\rho = \rho_T + \rho_{\text{исд}} , \quad (8)$$

где ρ_T – удельное сопротивление, обусловленное температурой окружающей среды, $\rho_{\text{исд}}$ – остаточное удельное сопротивление, обусловленное дефектами кристаллической решетки.

Специфика твердых растворов состоит в том, что остаточное сопротивление может существенно (во много раз) превышать тепловую составляющую.

Для многих двухкомпонентных сплавов изменение роста в зависимости от состава хорошо описывается параболической зависимостью вида рис. 2.

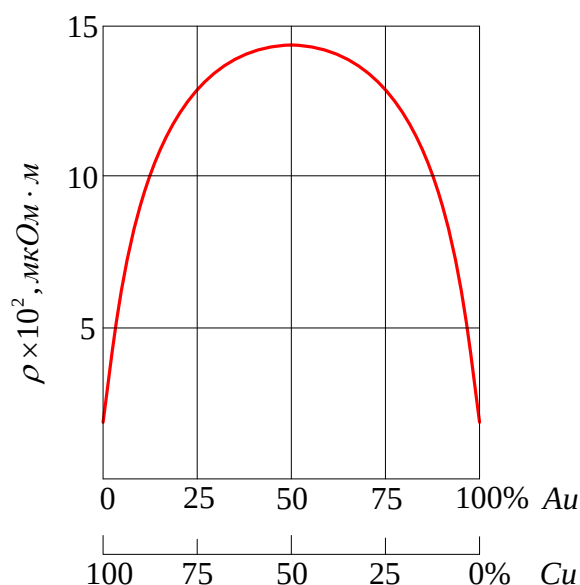


Рис.2. Зависимость удельного сопротивления от состояния сплавов Au-Cu

Из рис. 2 следует, что в бинарных твердых растворах А-В остаточное сопротивление увеличивается как при добавлении атомов А к металлу В, так и при добавлении атомов В к металлу А. 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. Остаточное сопротивление достигает своего максимального значения при равном содержании каждого компонента ($x_A = x_B = 0.5$).

Чем больше удельное сопротивление сплава, тем меньше его α_p . Это вытекает из того, что в твердых растворах остаточное сопротивление, как правило, существенно превышает тепловое сопротивление и не зависит от температуры, т.к. обусловлено дефектами кристаллической решетки.

1.4 Термопары

При соприкосновении двух различных металлов между ними возникает контактная разность потенциалов. Если в замкнутой цепи из двух металлических проводников один контакт нагреть до более высокой

температуры, чем другой, то возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС) ΔU , которая для данной пары металлов является функцией только разности температур. Термоэлемент, составленный из двух различных проводников, образующих замкнутую цепь, называется термопарой.

Подбирая проволоки с большой удельной относительной термо-ЭДС, изготавливают термопары, предназначенные для точного измерения температуры.

В настоящее время используется большое количество типов термопар на базе чистых металлов или сплавов - твердых растворов. Наиболее часто применяют следующие сплавы

1. копель (56% Cu, 44% Ni)
2. алюмель (95% Ni, остальное Al, Si и Mn)
3. хромель (90% Ni, 10% Cr)
4. платинородий (90% Pt, 10% Rh)

Зависимости термо-ЭДС различных термопар от температуры приведены на рис. 3.

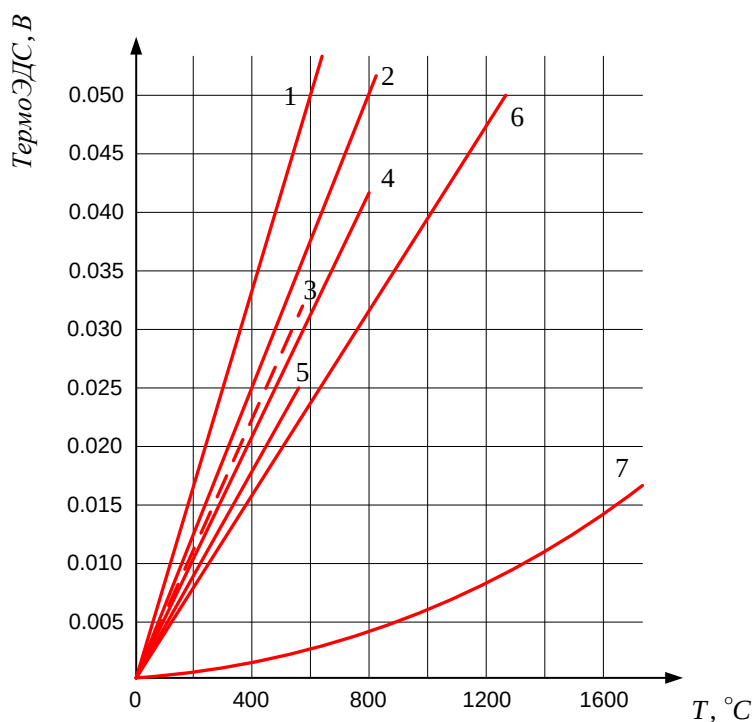


Рис.3. Зависимость термо-ЭДС от разности температур горячего и холодного спаев для термопар: 1 – хромель-копель, 2 – железо-копель, 3 – медь-копель, 4 – железо-константан, 5 – медь-константан, 6 – хромель-алюмель, 7 – платинородий-платина.

2 Практическая часть работы

Для расчета удельного сопротивления материала необходимо определить геометрические параметры образца и заполнить таблицу 1.2.

Таблица 1.2

№	Металл или сплав	L , м	D , мм	S , мм ²

Измерить значения электрического сопротивления различных проводниковых материалов и термо-ЭДС термопар в диапазоне температур $t \in [t_0, \dots, 80]$ °C, где t_0 – комнатная температура.

Для нагревания образцов используется термокамера, для измерения электрического сопротивления, термо-ЭДС, а также температуры внутри термокамеры используется цифровой мультиметр (рис. 4).



Рис. 4. Мультиметр цифровой Protek 506

Результаты измерения записать в табл. 1.3 и табл. 1.4.

Постройте график $\Delta U(t)$ для каждой термопары, постройте график $\frac{1}{\rho_0} \rho(t)$ для каждого образца проводникового материала (где ρ_0 – удельное сопротивление материала при комнатной температуре).

Таблица 1.3

№	t , °C	Металл или сплав		Металл или сплав		Металл или сплав	
		R , Ом	ρ , Ом·м	R , Ом	ρ , Ом·м	R , Ом	ρ , Ом·м

Таблица 1.4

№	$t, ^\circ\text{C}$	Термопара	Термопара	Термопара
		$\Delta U, \text{мВ}$	$\Delta U, \text{мВ}$	$\Delta U, \text{мВ}$

Используя данные таблицы 1.3, вычислите среднюю длину свободного пробега электронов для каждого проводникового материала в каждой температурной точке и постройте график $\bar{\ell}(T)$.

Используя данные табл. 1.3., заполните таблицу 1.5.

Таблица 1.5

№	Металл или сплав	$\alpha_p, 1/^\circ\text{C}$

3 Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение удельного сопротивления проводников. В каких единицах оно измеряется?
- 2 Почему металлы обладают высокой электрической проводимостью?
- 3 Как объяснить возрастание удельного сопротивления металлов при нагревании?
- 4 Сформулируйте определение температурного коэффициента удельного сопротивления.
- 5 Почему удельное сопротивление металлических сплавов типа твёрдых растворов выше, чем у чистых металлов, являющихся компонентами сплава?
- 6 Почему металлические сплавы обладают меньшим температурным коэффициентом удельного сопротивления, чем чистые металлы?
- 7 При каких условиях возникает термоэлектродвижущая сила?

4 Список литературы

- 1 Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа, 1986.
- 2 Л.Ю.Солдатов Материаловедение и материалы электронных средств. М.: Высшая школа, 2001.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

1 Цель работы

Изучение магнитных свойств ферромагнитных материалов при помощи исследования их петель гистерезиса.

2 Теоретическая часть работы

2.1 Классификация материалов по поведению в магнитном поле

Магнитными свойствами обладают все вещества в природе, но проявляются они различно. По своим магнитным свойствам все материалы подразделяются на три основные группы (рис. 1):

- диамагнетики;
- парамагнетики;
- ферромагнетики.

Основанием для деления веществ послужило различие в их магнитной проницаемости μ , определяемой из соотношения

$$B = \mu \mu_0 H, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция, Тл, а H – напряженность магнитного поля, А/м,

$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6}$ Н/м – магнитная постоянная.

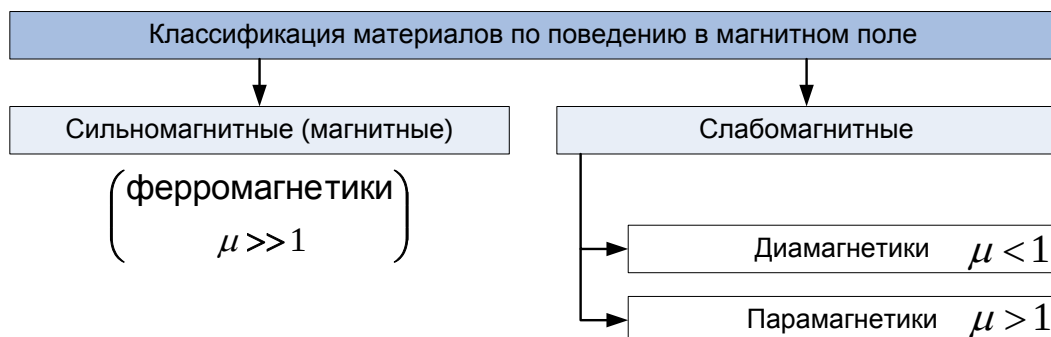


Рис. 1. Классификация материалов по поведению в магнитном поле

Диамagnetики.

Диамagnetиками называются вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном направлению вектора магнитной индукции поля.

К диамagnetикам относятся вещества, магнитные моменты атомов, молекул или ионов которых в отсутствие внешнего магнитного поля равны нулю. Диамagnetиками являются инертные газы, молекулярный водород и азот, цинк, медь, золото, висмут, парафин и многие другие органические и неорганические соединения.

В случае отсутствия магнитного поля диамagnetик немагнитен, поскольку в данном случае магнитные моменты электронов взаимно компенсируются, и суммарный магнитный момент атома равен нулю.

Следует отметить, что магнитная проницаемость у диамagnetиков $\mu < 1$. Вот, например, у золота $\mu = 0.999961$, у меди $\mu = 0.9999897$.

Парамагнетики.

Наряду с диамagnetичными веществами существуют и парамагнитные вещества, – вещества, намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению поля.

У парамагнитных веществ при отсутствии внешнего магнитного поля магнитные моменты электронов не компенсируют друг друга, и атомы (молекулы) парамагнетиков всегда обладают магнитным моментом. Однако вследствие теплового движения молекул их магнитные моменты ориентированы беспорядочно, поэтому парамагнитные вещества магнитными свойствами не обладают. При внесении парамагнетиков во внешнее магнитное поле устанавливается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов по полю (полной ориентации препятствует тепловое движение атомов).

Таким образом, парамагнетик намагничивается, создавая собственное магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним полем и усиливающее его. При ослаблении внешнего магнитного поля до нуля ориентация магнитных моментов вследствие теплового движения нарушается и

парамагнетик размагничивается.

Вот некоторые парамагнитные вещества: алюминий $\mu = 1.000023$, воздух $\mu = 1.00000038$.

Ферромагнетики.

Особый класс магнетиков образуют вещества, способные обладать намагниченностью в отсутствии внешнего магнитного поля. По своему наиболее распространенному представлению (железу) их называют ферромагнетиками.

Ферромагнетиками называются твердые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздействий – магнитного поля, деформации, изменения температуры.

Ферромагнетики в отличие от слабомагнитных диа- и парамагнетиков являются сильномагнитными средами: внутреннее магнитное поле в них может в сотни и тысячи раз превосходить внешнее поле.

Магнитные свойства ферромагнитных материалов сохраняются до тех пор, пока их температура не достигнет значения, называемого точкой Кюри. При температурах выше точки Кюри ферромагнетик ведет себя во внешнем магнитном поле как парамагнитное вещество. Он не только теряет свои ферромагнитные свойства, но у него изменяется теплоемкость, электропроводимость и некоторые другие физические характеристики.

Точка Кюри для различных материалов различна:

- для железа $+7700\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для никеля $+3650\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- для кобальта $+11300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2 Классификация ферромагнитных материалов

Ферромагнитные материалы делятся на две группы: магнитно-мягкие и магнитно-твердые.

Магнитно-мягкие материалы.

Магнитно-мягкие материалы применяются в качестве магнитопроводов (сердечников) в устройствах и приборах, где магнитный поток постоянный или переменный (например, магнитопровод трансформатора). Они обладают низким значением коэрцитивной силы H_c (ниже 400 А/м), высокой магнитной проницаемостью и малыми потерями от гистерезиса. К этой группе материалов относятся: техническое железо и низкоуглеродистые стали, листовые электротехнические стали, железоникелевые сплавы с высокой проницаемостью (пермаллой) и оксидные ферромагнетики – ферриты и оксиферы.

Техническое железо с содержанием углерода до 0,04%, углеродистые стали и чугун широко применяются для магнитопроводов, работающих в условиях постоянных магнитных полей. Техническое железо обладает высокой индукцией насыщения (до 2,2 Тл), высокой магнитной проницаемостью и низкой коэрцитивной силой.

Электротехнические стали – это сплавы железа с кремнием (1-4%). Путем изменения содержания кремния и применением различных технологических приемов получают стали с широким диапазоном магнитных свойств. Кремний улучшает свойства технического железа: увеличиваются начальная и максимальная магнитные проницаемости, уменьшается коэрцитивная сила, уменьшаются потери энергии от гистерезиса, увеличивается удельное электрическое сопротивление, что важно для уменьшения так называемых вихревых токов, возникающих при циклически изменяющемся магнитном поле и нагревающих магнитопровод.

Стали, с низким содержанием кремния, имеют низкую магнитную проницаемость, большую индукцию насыщения и большие удельные потери,

они применяются в установках и приборах цепей постоянного тока или переменного тока низкой частоты. Стали с высоким содержанием кремния применяются в тех случаях, когда нужно иметь высокую магнитную проницаемость в слабых и средних полях и малые потери от гистерезиса и вихревых токов, вследствие чего они могут применяться для магнитопроводов, работающих при повышенной частоте тока.

Рассмотрим некоторые виды магнито-мягких материалов, которые наиболее часто применяются в промышленности.

Пермаллои – это сплавы различного процентного содержания железа и никеля, а некоторые из них, кроме того, молибдена, хрома, кремния, алюминия. Пермаллои имеют высокую магнитную проницаемость, в 10-15 раз большую, чем у листовой электротехнической стали. В этих сплавах индукция насыщения достигается при малых напряженностях поля (от десятых долей до нескольких сотен ампер на метр). Одни из них имеют низкую индукцию насыщения B_s (около 0,6 – 0,8 Тл), другие – относительно высокую (1,3 – 1,6 Тл). К первой группе относятся высоконикелевые пермаллои, например содержащий 79% никеля и 3,8% молибдена. Ко второй группе относятся низконикелевые пермаллои, например содержащие 45% никеля.

Магнитные свойства пермаллоев в сильной степени зависят от технологии их изготовления.

Ферритами называют ферромагнитные материалы, получаемые из смеси окислов железа, цинка и других элементов. При изготовлении магнитопроводов смесь размалывают, прессуют и отжигают при температуре около 1200 °С; таким образом, получают магнитопроводы нужной формы. Ферриты обладают очень большим удельным сопротивлением, вследствие чего потери из-за вихревых токов чрезвычайно малы и их можно применять при высокой частоте.

Ферриты обладают значительной начальной магнитной проницаемостью, незначительной индукцией насыщения (0,18 – 0,32 Тл) и малой коэрцитивной силой (8 – 80 А/м).

Магнитодиэлектрики – это материалы, получаемые из смеси мелкозернистого ферромагнитного порошка с диэлектриком (поливинилхлорид, полиэтилен). Смесь формуют, прессуют и запекают; в результате мельчайшие частицы ферромагнетика оказываются разделенными электроизолирующей пленкой из немагнитного материала.

Ферриты и магнитодиэлектрики широко применяются в качестве сердечников в аппаратуре проводной и радиосвязи, в магнитных усилителях, вычислительных машинах и в других областях техники.

Магнитно-твердые материалы.

Магнитно-твердые материалы предназначены для изготовления постоянных магнитов самого различного назначения. Эти материалы характеризуются большой коэрцитивной силой и большой остаточной индукцией.

К магнитно-твердым материалам относятся: углеродистые, вольфрамовые, хромистые и кобальтовые стали; их коэрцитивная сила 5000-8000 А/м, остаточная индукция 0,8 – 1Тл. Они обладают ковкостью, поддаются прокатке, механической обработке и выпускаются промышленностью в виде полос или листов.

К магнитно-твердым материалам, обладающим лучшими магнитными свойствами, относятся сплавы: альни, альниси, альнико и др. Они характеризуются коэрцитивной силой $H_C = 20000 \div 60000$ А/м и остаточной индукцией $B_R = 0.4 \div 0.7$ Тл.

2.3 Намагниченность

Количественной характеристикой намагниченного состояния вещества служит векторная величина – намагниченность J . В случае однородно намагниченного тела намагниченность определяется как магнитный момент J единицы объёма тела:

$$J = \frac{M}{V}, \quad (2)$$

где M – магнитный момент тела, V – объем тела. Единица намагниченности в Международной системе единиц – ампер на метр (1 А/м – намагниченность, при которой 1 м^3 вещества обладает магнитным моментом $1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$). Зависимость намагниченности J ферро-, пара- и диамагнетиков от напряженности поля представлена на рис. 2.

У ферромагнетиков при увеличении напряженности внешнего поля намагниченность растет нелинейно, то есть их намагниченность J и проницаемость μ зависят от H сложным образом. У пара- и диамагнетиков и при весьма больших H рост намагниченности изображается прямой линией, т.е. их J и μ от H не зависят. У диамагнетиков намагниченность отрицательна, а это значит, что она направлена навстречу внешнему магнитному полю.

Намагниченность J ферромагнитного материала растет только до предельного значения, называемого намагниченностью насыщения J_s .

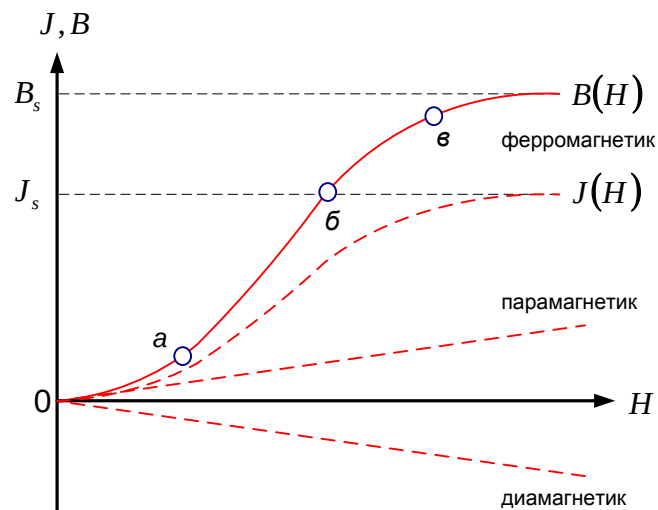


Рис. 2. Намагниченность различных магнитных материалов

На рис. 2 сплошной линией показана кривая первоначального намагничивания $B(H)$ для ферромагнитных материалов. Кривую $B(H)$ можно

разделить на четыре участка:

- 1 почти линейный участок $0 - a$, соответствующий малым напряженностям поля, показывает, что магнитная индукция увеличивается относительно медленно и почти пропорционально напряженности поля;
- 2 почти линейный участок $a - b$, на котором магнитная индукция B растет также почти пропорционально напряженности поля, но значительно быстрее, чем на начальном участке;
- 3 участок $b - c$ – колено кривой намагничивания, который характеризует замедление роста индукции B ;
- 4 участок магнитного насыщения – участок, расположенный выше точки c ; здесь зависимость снова линейная, но рост индукции B очень сильно замедлен по сравнению со вторым. Магнитная индукция, которая соответствует намагниченности насыщения, называется индукцией насыщения B_s .

Таким образом, зависимость магнитной индукции от напряженности поля у ферромагнитного материала достаточно сложная и не может быть выражена простой расчетной формулой.

2.4 Физическая природа магнетизма

2.4.1 Физическая природа магнетизма

В любом веществе элементарными носителями магнетизма являются электроны и ядра атомов. С движением электрона по орбите вокруг ядра можно связать так называемый орбитальный магнитный момент электрона. Величину этого момента можно оценить, рассматривая круговой ток, создаваемый движением электрона по орбите. Но электрон, как показали эксперименты, обладает еще так называемым собственным, или спиновым магнитным моментом.

Магнитный момент ядра примерно в $2 \cdot 10^3$ раз меньше собственного и орбитального магнитных моментов электрона. Поэтому при рассмотрении магнитных свойств веществ им обычно пренебрегают. Таким образом,

магнитные свойства вещества определяются в основном собственным и орбитальным магнитными моментами электронов. Магнетомеханические опыты (эффект Эйнштейна и де Гааза, эффект Барнетта) показали, что в намагничивании ферромагнетиков орбитальные магнитные моменты практически не принимают участия и что внешнее поле влияет главным образом на ориентацию собственных магнитных моментов электронов.

2.4.2 Строение атомов ферромагнетиков

Посмотрим теперь, как устроен атом ферромагнетика, например, железа. В атоме железа – 26 электронов, которые образуют четыре оболочки. Первая, самая внутренняя оболочка, содержит два электрона (1s-электроны), вторая – восемь (2s- и 3p-электроны), третья – четырнадцать (3s- 3p- и 3d-электроны) и последняя – два (4s-электроны). При этом вторая оболочка состоит из двух (s и p), а третья - из трех (s, p и d) подоболочек (рис. 3). Третья и четвертая оболочки атома не достроены: в третьей может быть до 18 электронов, а в четвертой – до 32. Недостающие четыре электрона в третьей оболочке приходятся на подоболочку 3d.

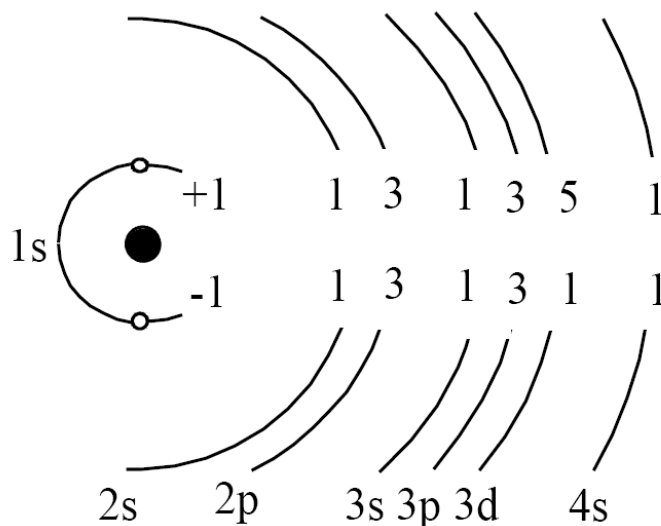


Рис. 3. Электронная структура атома железа

Природа собственных магнитных моментов электронов такова, что они могут иметь только одну из двух взаимно противоположных ориентаций в

пространстве. Эти ориентации обозначим знаками “+” и “-” (рис. 3). Мы видим, что полностью застроенные первая и вторая оболочки атом железа содержат одинаковое число электронов с положительными и отрицательными собственными магнитными моментами. Эти моменты в каждой из оболочек взаимно компенсируют друг друга, так что последние в магнитном отношении оказываются нейтральными.

В третьей оболочке две первые подоболочки 3s и 3p нейтральны в магнитном отношении, а в оболочке 3d имеется пять электронов с положительным собственным магнитным моментом и один с отрицательным. Таким образом, четыре электронных спина в подоболочке 3d оказываются нескомпенсированными, следовательно, весь атом в целом имеет определенный результирующий магнитный момент.

Наружные (валентные) электроны атома железа скомпенсированы.

Итак, элементарными “магнетиками” являются не все электроны атома железа, а только небольшая часть их. В атомах никеля в создании магнитного момента атома принимает участие еще меньшее число электронов, чем в железе.

Незаполненные оболочки с нескомпенсированными собственными магнитными моментами электронов имеют также атомы Al, Sc, Ti, V, Cr, Mn и др., но вещества из этих атомов не являются ферромагнитными, (т. е. не обладают сильно выраженными магнитными свойствами). Таким образом, наличие нескомпенсированных собственных магнитных моментов электронов, которые могут возникать только в атомах с недостроенными оболочками, является необходимым условием образования ферромагнитного вещества, но не достаточным.

2.4.3 Взаимодействие между атомами в ферромагнетике

И атом железа и атом алюминия, будучи изолированными, обладают магнитными моментами, равными по порядку величины. Но кусок алюминия практически не может обладать магнитным моментом, в отличие от куска

железа. В чем же дело? Дело в том, что атомы, будучи сведены на близкое расстояние, взаимодействуют друг с другом. При определенном соотношении между размерами атомов и межатомными расстояниями это взаимодействие приводит к тому, что нескомпенсированные собственные магнитные моменты электронов соседних атомов устанавливаются параллельно друг другу. Такое взаимодействие называют “обменным”. Если свести вместе 10, 100, 103, 106 атомов железа, то результирующий магнитный момент такого кусочка железа будет примерно равен сумме магнитных моментов атомов, составляющих этот кусочек. Таким образом ведут себя атомы Fe, Co, Ni и некоторые другие. Атомы Al, Sc, Ti и многие другие не имеют “обменного взаимодействия” и, сведенные вместе, образуют вещества, называемые парамагнитными.

2.4.4 Домены

Если рассматривать достаточно большой кусок ферромагнитного вещества (или даже достаточно большую область этого куска ферромагнитного вещества), то ее самопроизвольная намагниченность (т. е. намагниченность, которая есть в отсутствие внешнего магнитного поля) окажется равной нулю. Дело в том, что область самопроизвольной намагниченности (область, в пределах которой имеет место обменное упорядочение магнитных моментов атомов) не может быть слишком большой. По мере роста этой области (ее называют доменом) появляются факторы, делающие невыгодной с энергетической точки зрения (равновесному состоянию системы должен соответствовать минимум энергии) параллельную ориентацию магнитных моментов в домене. По мере удаления от центральной части домена на некотором расстоянии от нее параллельность магнитных моментов атомов довольно резко нарушается – возникает некоторая пограничная область, в которой ориентация магнитных моментов изменяется, и далее образуется новый домен, ориентация магнитного момента которого отличается от ориентации магнитного момента соседнего домена.. В результате ферромагнетик оказывается состоящим из большого числа доменов, в каждом

из которых магнитные моменты атомов параллельны друг другу, но магнитные моменты доменов ориентированы хаотически. Это приводит к тому, что в отсутствие внешнего магнитного поля результирующий магнитный момент ферромагнетика равен нулю.

2.4.5 Процессы намагничивания в ферромагнетиках

Таким образом, ферромагнетик в ненамагниченном состоянии представляет собой конгломерат областей самопроизвольной намагниченности. Если на такой ферромагнетик наложить внешнее магнитное поле, то он будет намагничиваться, т. е. появится и будет возрастать результирующий магнитный момент ферромагнетика. Рост намагниченности ферромагнетика в функции внешнего магнитного поля, как было показано ранее, носит весьма сложный характер (рис. 2). Схематически процесс намагничивания ферромагнетика можно представить следующим образом. Рассмотрим небольшой участок ферромагнитного образца, на котором в отсутствие внешнего поля образовалось несколько доменов (рис. 4, а). При наложении на ферромагнетик внешнего магнитного поля $H > 0$ объем областей, ориентация магнитных моментов которых наиболее близка к ориентации поля H , будет расти за счет объема соседних областей, магнитные моменты которых ориентированы менее удачно (рис. 4, б).

Этот рост происходит путем смещения границ областей. При некотором значении магнитного поля ферромагнетик будет состоять из одного домена с моментом M (рис. 2, в).

При дальнейшем возрастании поля момент начнет поворачиваться ближе к ориентации поля H до полного с ним совпадения (рис. 2, г). При этом имеет место так называемое техническое насыщение намагниченности. Поскольку моменты всех первоначально существовавших областей полностью ориентированы по полю, то величина намагниченности технического насыщения равна величине самопроизвольной намагниченности J . Поле H_s , в котором достигается техническое насыщение, называется полем насыщения.

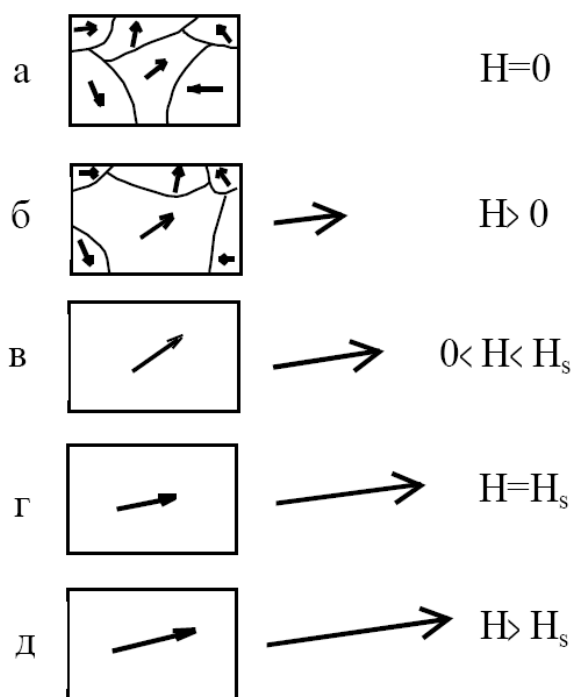


Рис. 4. Изменение доменной структуры ферромагнетика по мере роста напряженности внешнего магнитного поля.

При дальнейшем увеличении напряженности магнитного поля момент M не меняет своего направления, однако слегка увеличивается его абсолютная величина за счет так называемого парапроцесса (рис. 2, д), под которым понимается переориентация магнитных моментов электронов, еще не повернувшихся вдоль внешнего поля.

2.5 Циклическое перемагничивание ферромагнетиков

Рассмотрим процесс перемагничивания ферромагнетиков. Допустим, что кольцевой магнитопровод из ферромагнитного материала не намагничен и тока в витках катушки нет, т.е. $B = 0$ и $H = 0$ (начало координат на рис. 5). При постепенном увеличении намагничивающего тока, а следовательно, и напряженности поля от нуля до некоторого наибольшего значения магнитная индукция увеличивается по кривой начального намагничивания ($0 - a$) и достигает соответствующего максимального значения B_a (рис. 3).

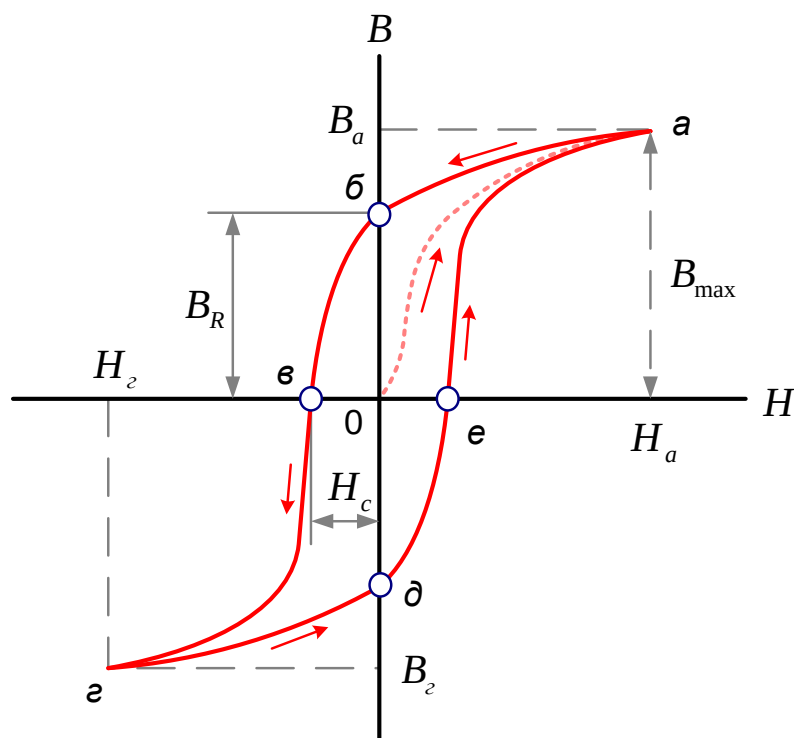


Рис. 5. Петля гистерезиса

Если затем ток и напряженность поля уменьшаются, то и магнитная индукция уменьшается, при соответствующих значениях напряженности магнитная индукция несколько больше, чем при увеличении напряженности. Кривая изменения магнитной индукции (участок $a - б$ на рис. 3) располагается выше кривой начального намагничивания. При нулевых значениях тока и напряженности поля магнитная индукция имеет некоторое значение B_R , называемое *остаточной индукцией* (отрезок $O - б$ на рис. 5).

Таким образом, магнитная индукция в ферромагнитном материале зависит не только от напряженности поля, но и от предшествующего состояния ферромагнетика. Это явление называется *гистерезисом*. Оно обусловлено как бы внутренним трением, возникающим при изменении ориентации магнитных моментов доменов.

При изменении направления намагничивающего тока, а, следовательно, и направления напряженности поля и постепенном увеличении тока обратного направления напряженность поля достигает значения H_c , называемого *коэрцитивной силой* (отрезок $O - в$), при котором магнитная индукция $B = 0$.

При дальнейшем увеличении тока и напряженности поля магнитопровод намагничивается в противоположном направлении и при напряженности поля $H_z = -H_a$ магнитная индукция достигнет значения $B_z = -B_a$. Затем при уменьшении тока и напряженности поля до нуля магнитная индукция B_0 становится равной $-B_0$. Наконец, при следующем изменении направления тока и напряженности поля и увеличения ее до прежнего значения H_a магнитная индукция увеличится также до прежнего значения B_a . Рассмотренный цикл перемагничивания ферромагнетика по кривой *абвгдеа* называется *гистерезисным циклом (петлей гистерезиса)*.

3 Практическая часть работы

3.1 Описание лабораторной установки

Рассмотрим устройство экспериментальной установки (рис. 6). Напряжение, снимаемое с резистора R_1 пропорционально намагничивающему току I и, следовательно, напряженности поля в экспериментальном образце $\mathcal{E}o$. Далее, сигнал, снимаемый с R_1 , подается на вход осциллографа X , т.е. на пластины горизонтального отклонения осциллографа.

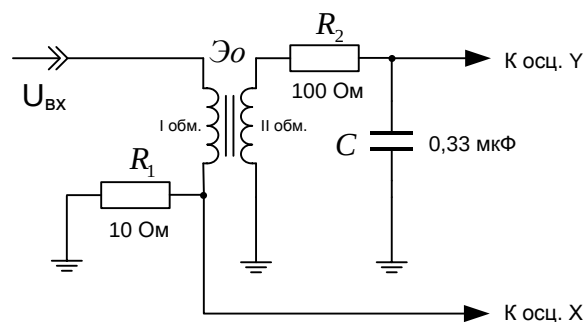


Рис. 6. Принципиальная схема лабораторной установки

С входа интегрирующей цепочки $R_2 C$ снимается напряжение U_C , которое пропорционально скорости изменения магнитной индукции, т.е. подается на вход Y осциллографа, пластины вертикального отклонения.

В результате мы получаем наглядное подтверждение явления магнитного гистерезиса, наблюдая петлю на экране прибора.

Рассмотрим работу интегрирующей цепочки $R_2 C$, переобозначив для

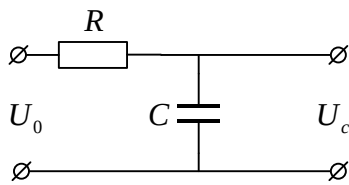


Рис. 7. Интегрирующая цепочка

удобства $R_2 = R$ (рис. 7). Напряжение U_0 (входное напряжение или ЭДС вторичной обмотки) определяется как сумма $(U_R + U_c)$, при этом токи в резисторе и на конденсаторе равны. Исходя из того, что емкость C есть отношение заряда q к падению напряжения на конденсаторе U_c , а ток в цепи есть

скорость изменения заряда, можно записать, что

$$I_c = C \cdot \frac{du_c}{dt}. \quad (3)$$

Таким образом, следует, что ток I_R в резисторе можно вычислить по следующей формуле:

$$\frac{U_0 - u_c}{R} = C \cdot \frac{du_c}{dt}. \quad (4)$$

Отсюда, входное напряжение U_0 равно

$$U_0 = RC \frac{du_c}{dt} + u_c. \quad (5)$$

Полученному дифференциальному уравнению соответствует характеристическое уравнение следующего вида

$$RC \cdot \lambda + 1 = 0, \quad (6)$$

где λ – корень характеристического уравнения: $\lambda = -1/RC$.

Общее решение будет в виде суммы двух составляющих:

$$U_c = U' + U'', \quad (7)$$

где U' – составляющая соответствующая установившемуся режиму;

U'' – составляющая, которой соответствует свободный процесс.

Т.к. U' это установившийся режим при котором $U' = U_0$, таким образом, $I' = 0$.

Для того чтобы определить вторую составляющую U'' нам необходимо решить однородное дифференциальное уравнение, которому соответствует

следующее выражение

$$u'' = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (8)$$

Итак, мы пришли к решению общего вида

$$u_C = u' + u'' = U_0 + A \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (9)$$

Найдем константу A из начальных условий, т.е. при $t = 0$:

$$u_C(0) = 0 = U_0 + A \cdot e^{-\frac{0}{RC}} \Rightarrow A = -U_0. \quad (10)$$

После преобразований, получаем

$$u_C = U_0 - U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right), \quad (11)$$

где RC – постоянная времени, равная промежутку времени, по истечению которого напряжение в цепи изменяется в e раз, по сравнению со своим исходным напряжением U_0 .

Зная, что e^x можно разложить в ряд Тейлора

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!}, \quad (12)$$

который для нашего случая примет следующий вид

$$e^{-\frac{t}{RC}} = 1 + \left(-\frac{t}{RC} \right) + \frac{t^2}{2(RC)^2} + \dots + \frac{t^n}{n(RC)^n}. \quad (13)$$

Ограничимся двумя первыми членами разложения.

Подставляя полученное разложение в формулу (11) получаем

$$u_C = U_0 \frac{t}{RC}. \quad (14)$$

Таким образом, конечный вид формулы будет следующий

$$U_0 t = RC \cdot u_C. \quad (15)$$

Итак, из предыдущих рассуждений следует, что входное напряжение U_0

равно скорости изменения магнитного потока Φ через контур (вторичная обмотка экспериментального образца). В свою очередь магнитный поток Φ есть произведение магнитной индукции B на площадь контура S . Иначе говоря, можно записать

$$U_0 = -\frac{d\hat{\Phi}}{dt} = -\frac{dB \cdot S \cdot N}{dt} \quad (16)$$

или

$$B = \frac{U_0 t}{S \cdot N} = \frac{RC}{S \cdot N} \cdot u_c. \quad (17)$$

где S – площадь контура (поперечное сечение магнитопровода); N – количество витков охватываемых контуром (в данном случае $N = N_2$ – число витков вторичной обмотки).

Теперь рассмотрим как зависит напряженность магнитного поля H от напряжения снимаемого с резистора R_1 .

Для этого рассмотрим сигнал, поступающий на вход (X) осциллографа. Ранее мы сказали, что напряжение, снимаемое с резистора R_1 , пропорционально напряженности поля в экспериментальном образце $\mathcal{E}_0$. Покажем это.

Известно, что циркуляция вектора напряженности магнитного поля вдоль произвольного замкнутого контура равна результирующему макротоку, сквозь поверхность натянутую на этот контур:

$$\oint_{(L)} H dl = I_{\text{макро}}. \quad (18)$$

В нашем случае значение макротока $I_{\text{макро}}$ определяется следующим образом: с резистора R_1 мы снимаем напряжение U_R , которое подается на горизонтально отклоняющие пластины осциллографа. Зная значение сопротивления на резисторе R_1 и значение напряжения U_R (которое фиксируется при помощи осциллографа) мы получаем, что значение $I_{\text{макро}} = U_R / R_1$.

Т.к. контур $\mathcal{E}_0$ у нас постоянен, то окончательно формула примет вид

$$H = \frac{U_R}{R_1 \cdot L} \cdot N_1, \quad (19)$$

где L – средняя магнитная линия магнитопровода, мм.

Исходя из полученных зависимостей, можно произвести исследование магнитных свойств ферромагнитных материалов, т.е. благодаря электронному осциллографу получаем на экране экспериментальную зависимость B от H (петлю гистерезиса), по которой затем определяем напряженности (максимальную и коэрцитивную силу) и магнитные индукции (максимальную и остаточную) поля, а также можно определить магнитную проницаемость μ данного материала.

3.2 Порядок работы

1. Пользуясь электрической схемой (рис. 4), собрать лабораторную установку. Функциональный генератор (рис. 6) должен быть настроен следующим образом:

- сигнал:  – синус;
- множитель: 100;
- частота: 100 Гц.

2. Увеличивая амплитуду A сигнала ручкой AMPL получить на экране осциллографа (рис. 9) предельную петлю гистерезиса. С помощью ручек $\updownarrow$ и $\leftrightarrow$ на осциллографе расположить петлю симметрично относительно центра координатной сетки. Зарисовать предельную петлю гистерезиса, записав при этом положения ручек осциллографа.



Рис. 8. Функциональный генератор MFG-8219A



Рис. 9. Осциллограф двухлучевой C1-96

3. По показаниям осциллографа определить ширину и высоту U_x и U_y предельной петли гистерезиса, приняв масштаб по оси X равным $0,5 \text{ А/дел}$.
4. По полученной предельной петле гистерезиса определить следующие величины:
 - максимальную напряженность H_a ;
 - максимальную магнитную индукцию B_a ;
 - остаточную магнитную индукцию B_R ;
 - коэрцитивную силу H_c ;
 - магнитную проницаемость μ материала.
5. Прodelать пп. 2 – 4 для всех остальных имеющихся образцов. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№	Материал сердечника	$U_x, \text{В}$	$U_y, \text{В}$	$H_a, \frac{\text{А}}{\text{м}}$	$B_a, \text{Тл}$	$B_R, \text{Тл}$	$H_c, \frac{\text{А}}{\text{м}}$	μ

6. Зарисовать ряд петель гистерезиса при 80%, 50% и 30% от максимальной амплитуды U_{II} на вторичной обмотке образца при частоте $f = 100 \text{ Гц}$ для всех образцов.
7. Снять частотную зависимость максимальной амплитуды U_{II} на вторичной обмотке для предельной петли гистерезиса всех образцов. Для этого, увеличивая частоту от $f = 100 \text{ Гц}$ и регулируя амплитуду сигнала, добиться на экране осциллографа предельной петли гистерезиса. Построить график зависимости $U_{II}(f)$ для каждого образца.

4 Контрольные вопросы

- 1 Классификация материалов по поведению в магнитном поле.
- 2 Классификация ферромагнетиков.
- 3 Физическая природа магнетизма.
- 4 Что такое петля гистерезиса?
- 5 Назовите и покажите на рисунке основные величины, которыми характеризуется петля гистерезиса.
- 6 Каким образом на экране осциллографа можно получить петлю гистерезиса?

5 Список литературы

- 1 Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа, 1986.
- 2 Л.Ю.Солдатова Материаловедение и материалы электронных средств. М.: Высшая школа, 2001.
- 3 Руководство к лабораторным работам по курсам Материаловедение и материалы электронных средств, Материалы электронной техники Джуплин В.Н., Варзарев Ю.Н., Поляков В.В. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 42с.
- 4 Лабораторный практикум по общей физике. Козлов В.И. – М.: Высшая школа, 2005. – 21с.

Паспорт зачета

по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты», 3 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в письменной форме с устной защитой, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-24, второй вопрос из диапазона вопросов 25-52 (список вопросов приведен ниже).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты»

1. Классификация материалов в зависимости от применения и функциональных возможностей. Конструкционные и функциональные материалы. Металлы и сплавы, полупроводниковые и диэлектрические материалы, материалы с особыми свойствами: магнитные, сегнетоэлектрики, для оптоэлектроники, сверх- и гиперпроводящие. Твёрдые, жидкие, газообразные материалы- примеры.
2. Чем отличаются зонные структуры металлов, полупроводников и диэлектриков?

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет *0-9 баллов*.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *10-15 баллов*.
- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи,

оценка составляет *16-18 баллов*.

- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет *19-20 баллов*.

3. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 10 баллов (из 20 возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты»

1. Классификация материалов в зависимости от применения и функциональных возможностей. Конструкционные и функциональные материалы. Металлы и сплавы, полупроводниковые и диэлектрические материалы, материалы с особыми свойствами: магнитные, сегнетоэлектрики, для оптоэлектроники, сверх- и гиперпроводящие. Твёрдые, жидкие, газообразные материалы- примеры.
2. Особые требования к материалам и технологии полупроводникового производства.
3. Проводящие, полупроводниковые и диэлектрические материалы для тонкоплёночной и толстоплёночной технологии.
4. Виды химических связей в твердых материалах. Структурные модификации твёрдых материалов (аморфные, поликристаллические, текстурированные, монокристаллы). Примеры использования монокристаллических материалов. Полиморфизм.
5. Строение кристаллических материалов. Кристаллическая решётка, основные параметры кубической (разновидности), гексагональной. Решётка типа алмаза. Понятие элементарной ячейки, координационное число, постоянная решётки. Плотность упаковки. Наиболее плотно упакованные виды решёток.

6. Кристаллографические плоскости и направления. Индексы Миллера. Обозначение основных кристаллографических плоскостей кубических решёток.
7. Дефекты: точечные, линейные, плоские, объёмные. Причины появления, влияние на электрические и механические свойства материалов. Сравнительный анализ влияния точечных дефектов на металлы и полупроводники. Примеры влияния термомеханических обработок на образование и исчезновение структурных дефектов.
8. Металлы. Электрические и механические характеристики. Электропроводность (удельное сопротивление), факторы, влияющие на эти характеристики, средняя тепловая и дрейфовая скорость, средняя длина свободного пробега. Зависимость удельного сопротивления от температуры. Оценка концентрации электронов, исходя из концентрации атомов, связь между концентрацией электронов и энергией Ферми.
9. Электропроводность металлов на высоких частотах. Оценка глубины проникновения в зависимости от удельного сопротивления и частоты. Изменение удельного сопротивления круглых и плоских проводников от частоты. Основные металлы высокой проводимости, основные области применения. Примеры.
10. Сплавы. Влияние примесей на электропроводность металлов. Понятие остаточного удельного сопротивления и его зависимость от валентности примеси. Правило Матиссена. Влияние концентрации компонентов на удельное сопротивление сплава (закон Нордгейма). Сравнение температурного коэффициента металлов и сплавов.
11. Какие материалы и в каких условиях переходят в сверхпроводящее состояние? Как магнитное поле влияет на критическую температуру перехода в сверхпроводящее состояние?
12. Чем отличаются сверхпроводники I и II рода? Что является причиной образования Куперовских пар?

13. Сравнительный анализ зонных энергетических структур металлов и полупроводников. Понятие вырожденного и невырожденного электронного газа. Критерии вырождения, отличие.

14. Собственный полупроводник. Примесные полупроводники. Оценка концентрации собственных, основных и не основных носителей заряда. Подвижность, факторы, влияющие на ее величину. Время жизни, диффузионная длина, от чего они зависят? Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии электронов и дырок. Зависимость удельного сопротивления от степени легирования и температуры. Чем определяется рабочий температурный диапазон полупроводниковых приборов, как он зависит от уровня легирования? Что такое «компенсированный полупроводник»?

15. Искривление энергетических зон на поверхности при наличии поверхностных зарядов, приводящее к обогащению поверхности электронами или дырками. Понятие инверсии и возможные последствия этого явления.

16. Магнитные свойства материалов. Диамагнитные, парамагнитные, ферромагнитные, антиферромагнитные и ферримагнитные материалы. Магнитодиэлектрики. Что определяет высокие магнитные характеристики ряда переходных металлов и ферримагнетиков и парамагнитные свойства у других.

17. Основные магнитные характеристики (намагниченность, магнитная индукция, начальная магнитная проницаемость и проницаемость, зависящая от величины магнитного поля), основная кривая намагничивания, гистерезисные явления. Коэрцитивная сила, остаточная индукция. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы. Потери в переменных полях на низких и высоких частотах.

18. Сущность внутреннего геттерирования, обоснование выбора одно- или двухстадийного зародышеобразования

19. Анализ диаграмм плавкости, объяснение кинетики затвердевания и расплавления эвтектических сплавов.
20. Газообразные, жидкие, твёрдые диэлектрики, применяемые в радиоэлектронике. Классификация твёрдых диэлектриков (ионные, молекулярные, аморфные). Механизм объёмной и поверхностной э/п. Понятие полного сопротивления изоляции. Э/п монокристаллических диэлектриков. Влияние внешних условий и приложенного напряжения на величину поверхностной и объёмной э/п.
21. Поляризация твёрдых диэлектриков. Механизм. Диэлектрическая проницаемость. Линейные и нелинейные диэлектрики. Сегнетоэлектрики. Зависимость диэлектрической проницаемости от поля, температуры и частоты. Пьезоэлектрики. Пироэлектрики. Электреты.
22. Виды потерь. Эквивалентная схема для анализа потерь. Механизм потерь (электронная и ионная и ионная составляющие, релаксационные потери, старение). Зависимость потерь от частоты, тангенс диэлектрических потерь, его зависимость от температуры. Эквивалентные схемы для анализа частотной зависимости тангенса диэлектрических потерь в реальных конденсаторах. Зависимость энергии диэлектрических потерь от величины приложенного ВЧ-напряжения и параметров диэлектрика.
23. Пробой в газах, жидких и твёрдых диэлектриках. Виды пробоя в твёрдых диэлектриках (электрический, ионизационный, тепловой). Пробивное напряжение и пробивная напряжённость поля.
24. Особенности проводниковых, резистивных, диэлектрических и магнитных плёночных материалов для микроэлектроники и оптоэлектроники. Зависимость характеристик от метода получения : тонкоплёночная технология (вакуум-термическое испарение, катодное распыление); толстоплёночная технология.

Дополнительные вопросы

Металлы и сплавы

25. Чем отличаются зонные структуры металлов, полупроводников и диэлектриков?
26. Какими свойствами обладает «электронный газ» в состоянии вырождения?
27. Как влияет температура на концентрацию электронов в металлах?
28. Что называют температурным коэффициентом удельного сопротивления? Является ли он константой для данного металла?
29. Как влияют примеси на удельное сопротивление металла? Сформулировать правило Матиссена.
30. Что такое дрейфовая и тепловая скорости электронов?
31. Как плотность тока связана с дрейфовой скоростью и концентрацией электронов?
32. Как оценить концентрацию электронов в металле?
33. Как влияет температура на среднюю длину свободного пробега электронов?
34. Как изменяется температурный коэффициент сопротивления в сплавах по сравнению с чистыми металлами, входящими в сплав.
35. Почему при термической закалке сопротивление металлов возрастает, а при отжиге уменьшается?
36. Почему удельное сопротивление тонких плёнок зависит от толщины.
37. Почему сопротивление проводника изменяется на высоких частотах?
38. Как изменится сопротивление проводника круглого сечения на ВЧ?
39. Как зависит глубина проникновения от электрофизических характеристик проводника и от частоты?

Полупроводниковые материалы

40. Почему электроны из валентной зоны переходят в зону проводимости, хотя их средняя тепловая энергия значительно ниже ширины запрещённой зоны полупроводника?
41. Почему в полупроводниках энергия ионизации примесных уровней (донорных или акцепторных) уменьшается в десятки раз?

42. В чём различие между вырожденным и невырожденным электронным газом?
43. Во сколько раз отличаются средние тепловые скорости электронов проводимости в металлах и полупроводниках (оценка)?
44. Чем определяется предельная рабочая температура полупроводниковых приборов

Магнитные материалы

45. Что такое коэрцитивная сила?
46. Чем отличаются магнитомягкие от магнитотвёрдых материалов?
47. Почему выгодно использовать для магнитопроводов пакеты изолированных пластин и материалы с высоким удельным сопротивлением.
48. Что такое ферриты?

Диэлектрические материалы

49. Чему равна количественно поляризация диэлектрика?
50. Почему в диэлектриках электроны практически не участвуют в электропроводности?
51. Чем отличается механизм электропроводности в газах и диэлектриках?
52. Почему поры в твёрдых диэлектриках снижают пробивную напряжённость диэлектрика?

Паспорт расчетно-графического задания

по дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты», 3 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания по дисциплине студенты должны рассчитать параметры элементов преобразователя для нужд электрической тяги в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графического задания студенты должны провести анализ объекта диагностирования, выбрать и обосновать диагностические признаки и параметры, разработать алгоритмы диагностирования, выбрать аппаратные средства.

Обязательные структурные части РГЗ.

Оцениваемые позиции:

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ, отсутствует анализ объекта, диагностические признаки не обоснованы, аппаратные средства не выбраны или не соответствуют современным требованиям, оценка составляет 0-19 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ выполнены формально: анализ объекта выполнен без декомпозиции, диагностические признаки недостаточно обоснованы, аппаратные средства не соответствуют современным требованиям, оценка составляет 20-29 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны, но не оптимизированы, аппаратные средства выбраны без достаточного обоснования, оценка составляет 30-35 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ объекта выполнен в полном объеме, признаки и параметры диагностирования обоснованы, алгоритмы разработаны и оптимизированы, выбор аппаратных средств обоснован, оценка составляет 36-40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ

Титульный лист

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Конструирования и технологии радиоэлектронных средств»

ЗАДАНИЕ НА РГЗ №1

ТЕМА: «ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ»

НОВОСИБИРСК, 2017

Задание

Студент: _____

Группа: РК6-21

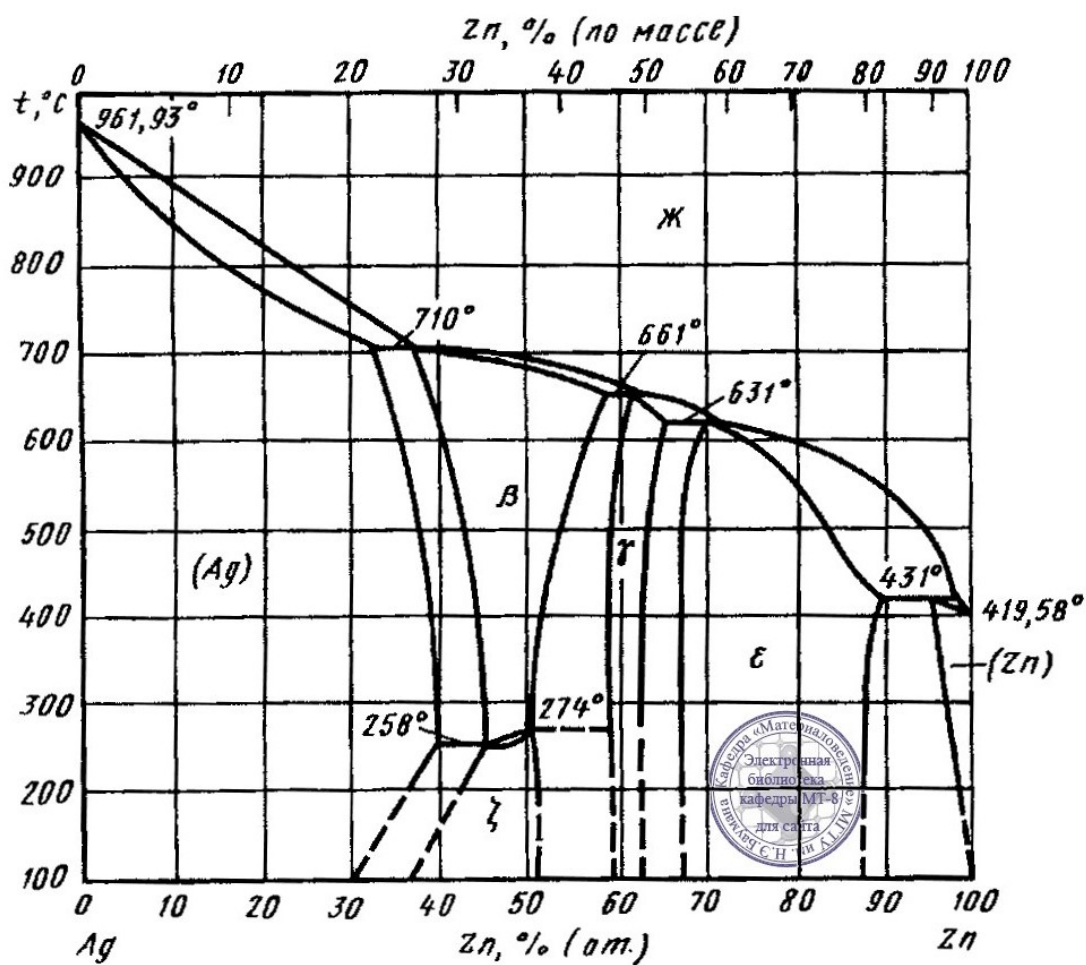
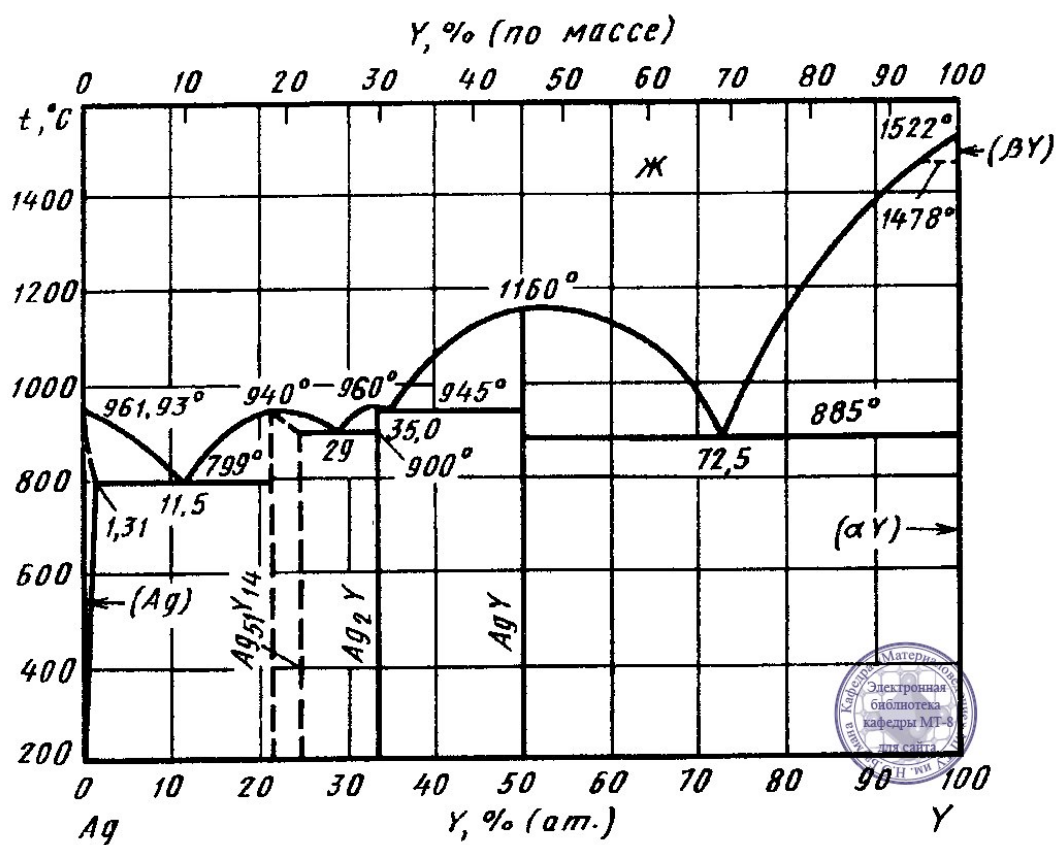
Сплав: _____

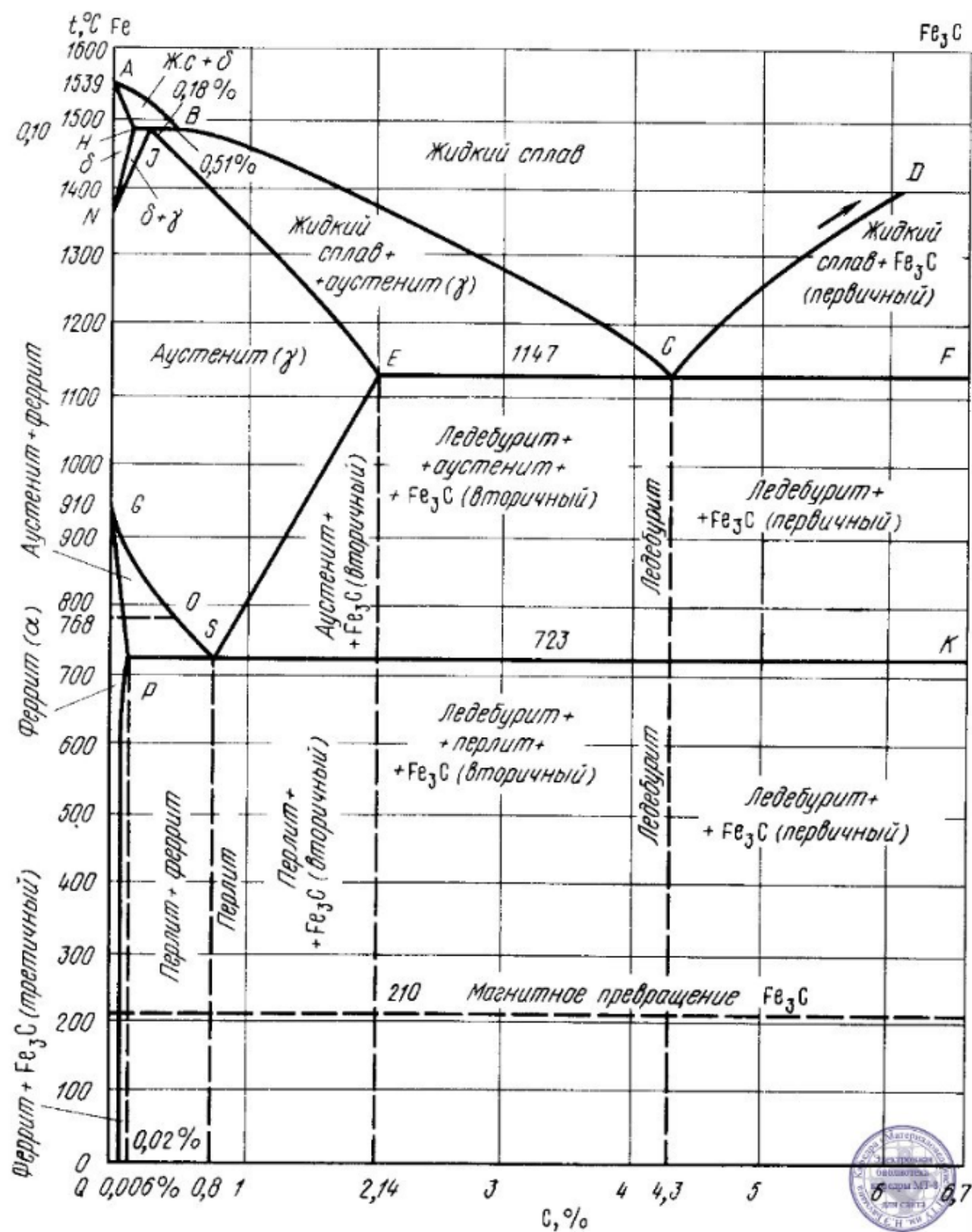
Состав сплава:

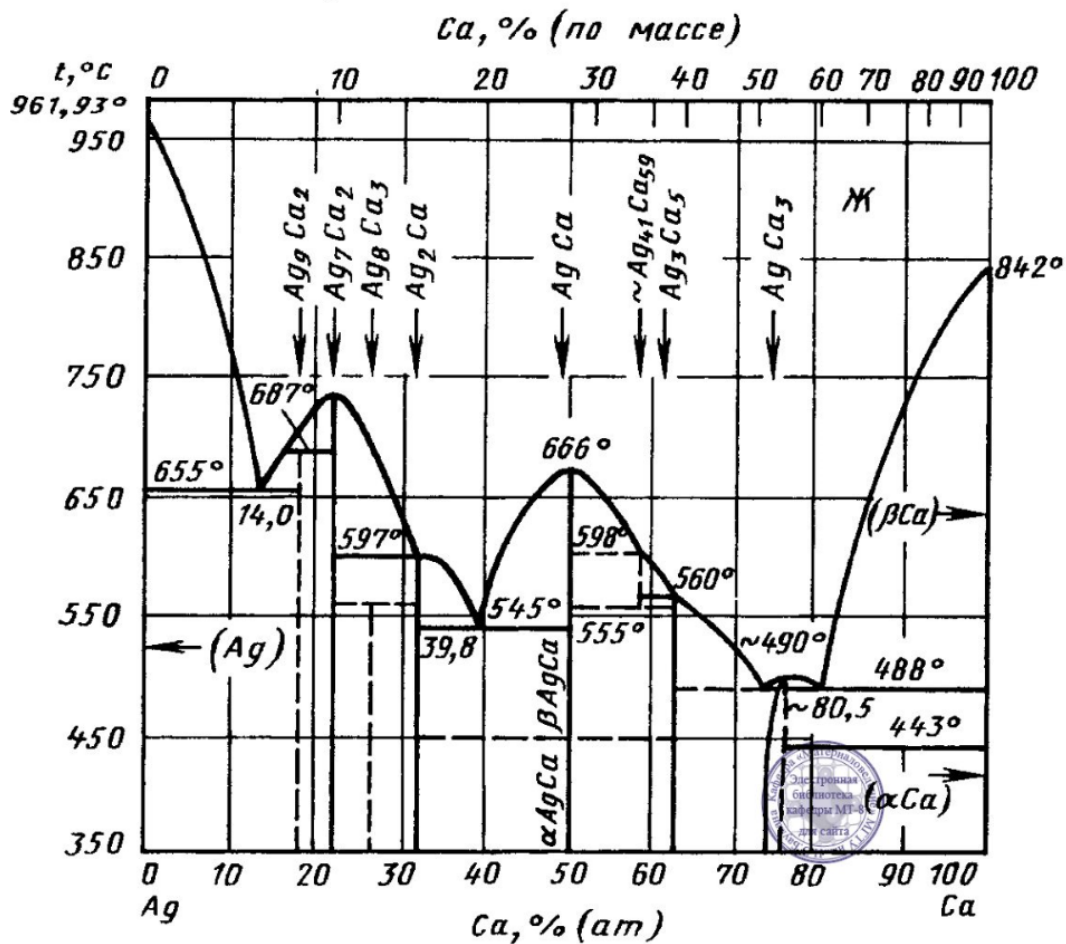
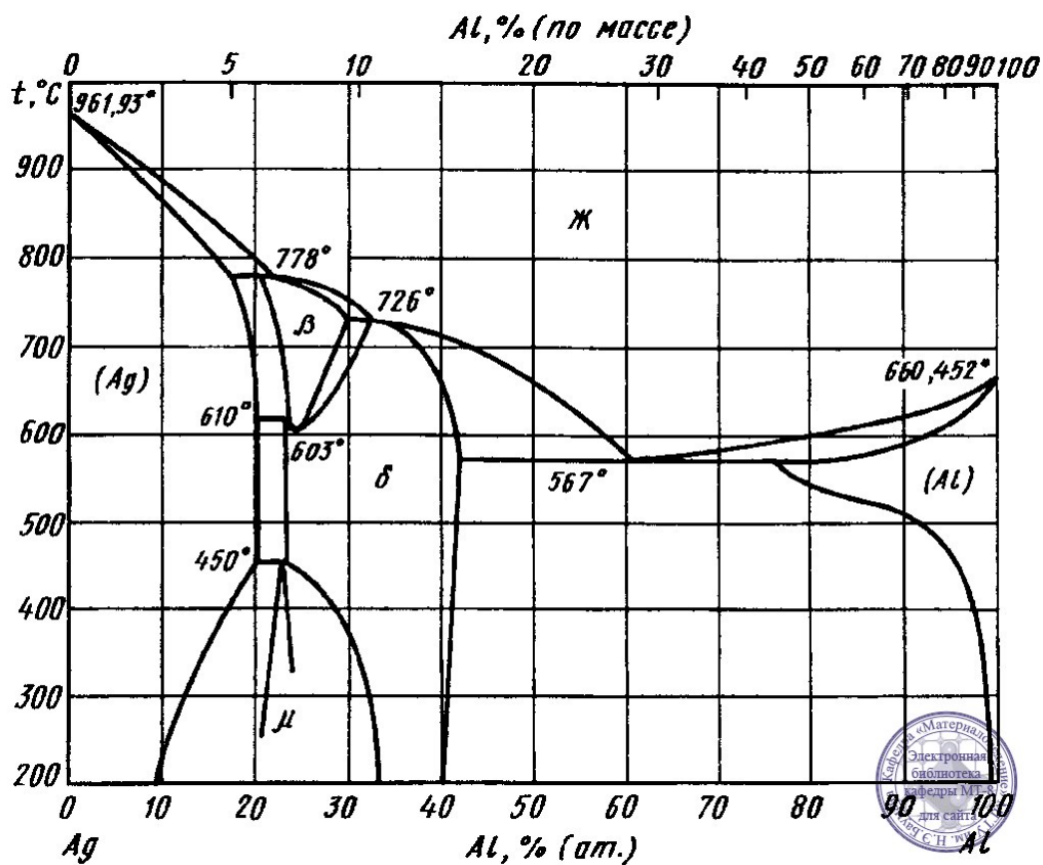
№	Вещество I (%)	Температура, (°C)
1		
2		

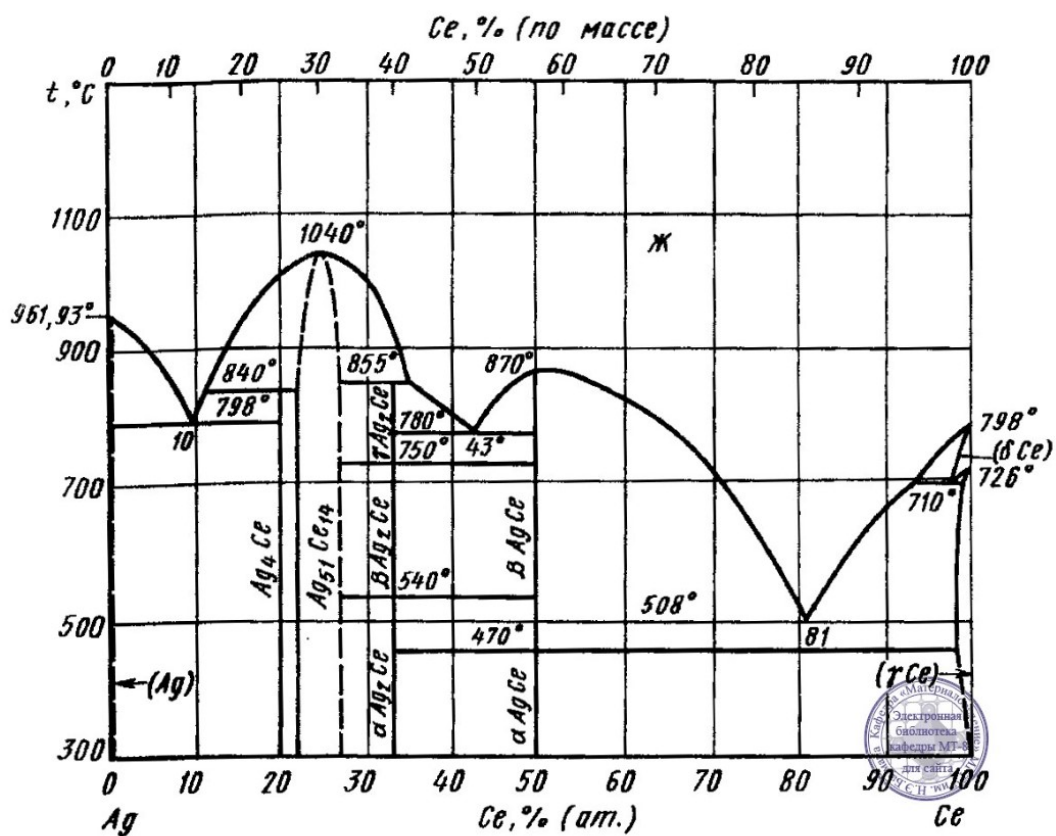
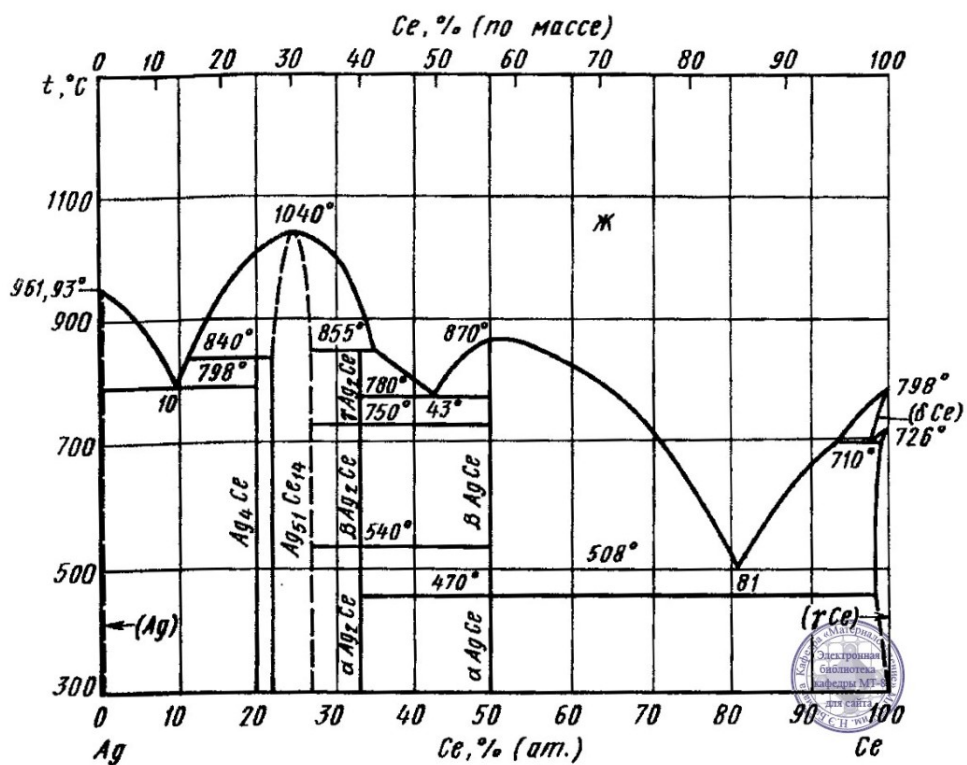
1. Привести справочную информацию о веществах сплава:
 - а. Температура плавления;
 - б. Проводимость;
 - в. Теплопроводность;
 - г. Использование в технике;
2. Указать смысл всех полей, а также линий и точек на диаграмме.
3. Рассмотреть процесс охлаждения расплава заданного состава. Для каждой точки расположенной на пересечении линии состава рассматриваемого сплава с линиями диаграммы и в промежутках между ними:
4. Дать наименование точки; определить, что происходит в данной точке;
5. Назвать равновесные фазы;
6. Определить число фаз и число степеней свободы;
7. Пояснить, что означает данное число степеней свободы.
8. Построить кривую охлаждения этого сплава.
9. При заданной температуре для данного сплава вычислить по правилу рычага массы равновесных (твердой и жидкой) фаз, полученных из 400г. первоначального расплава.
10. Вычислить состав химических соединений.

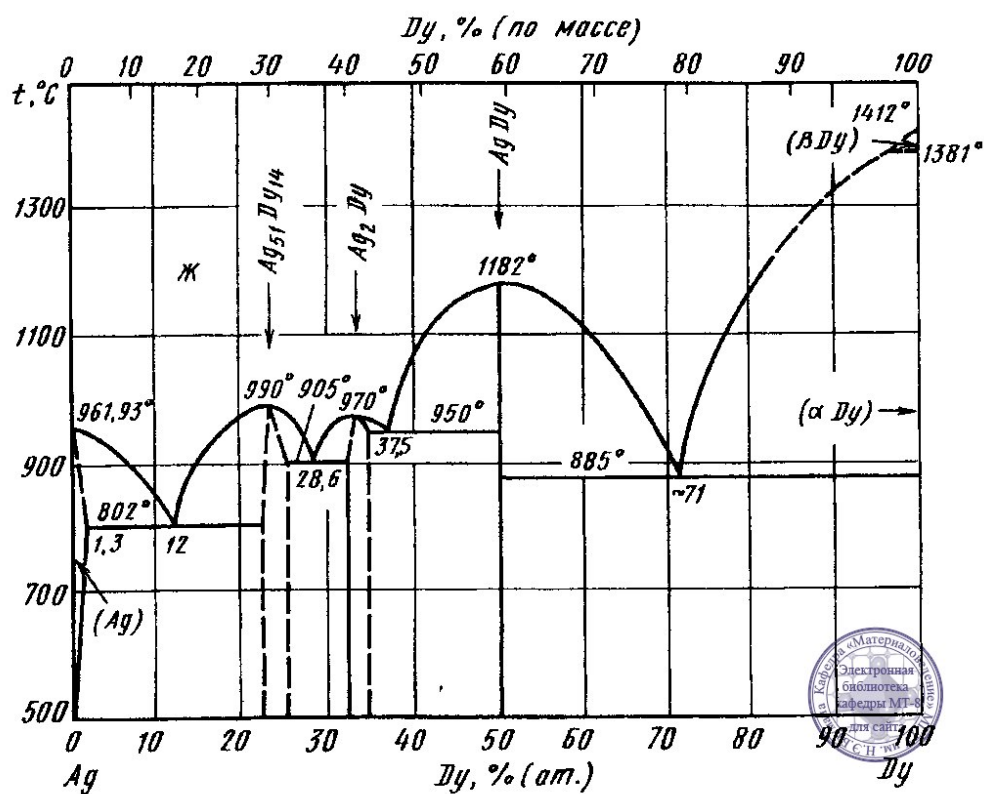
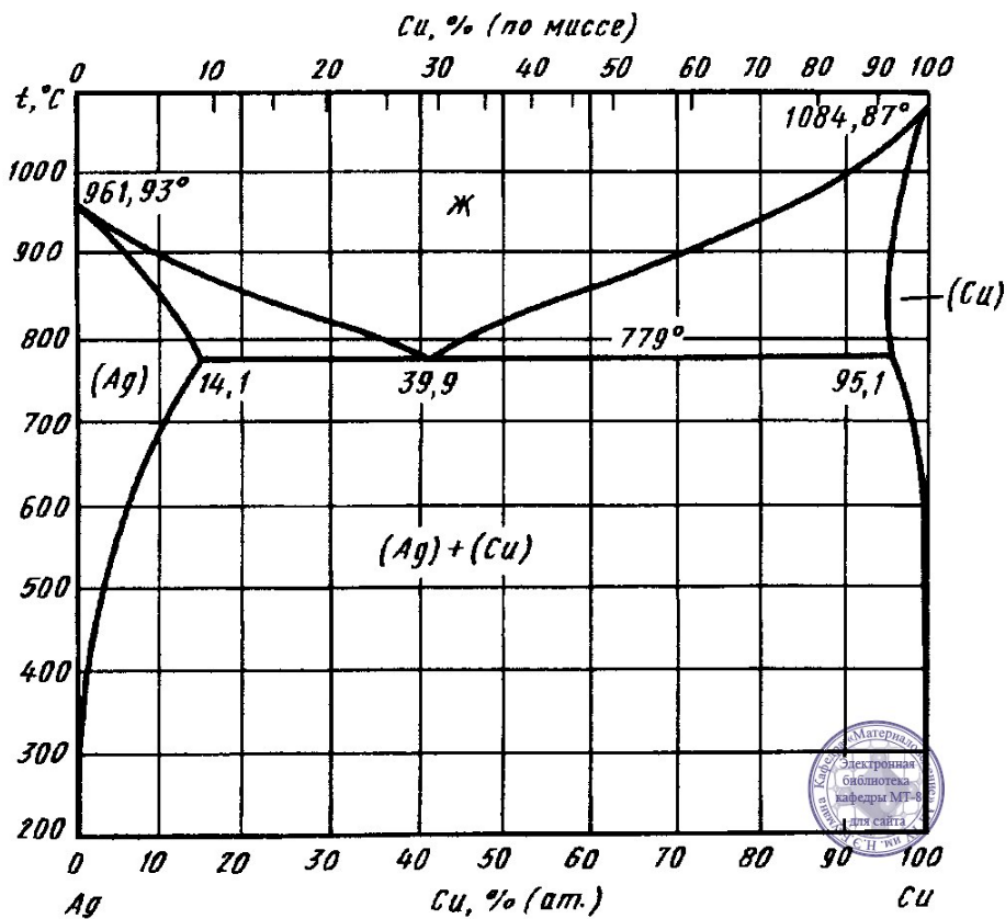
Преподаватель: _____/А.А. Бизяев/

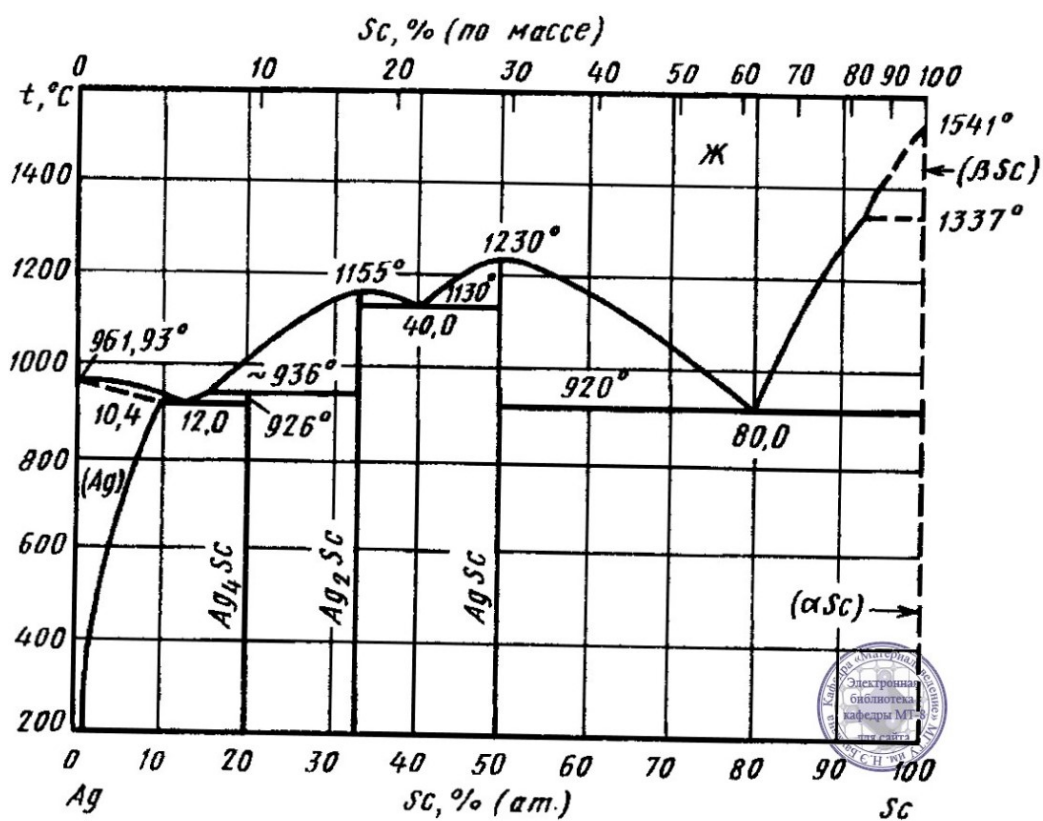
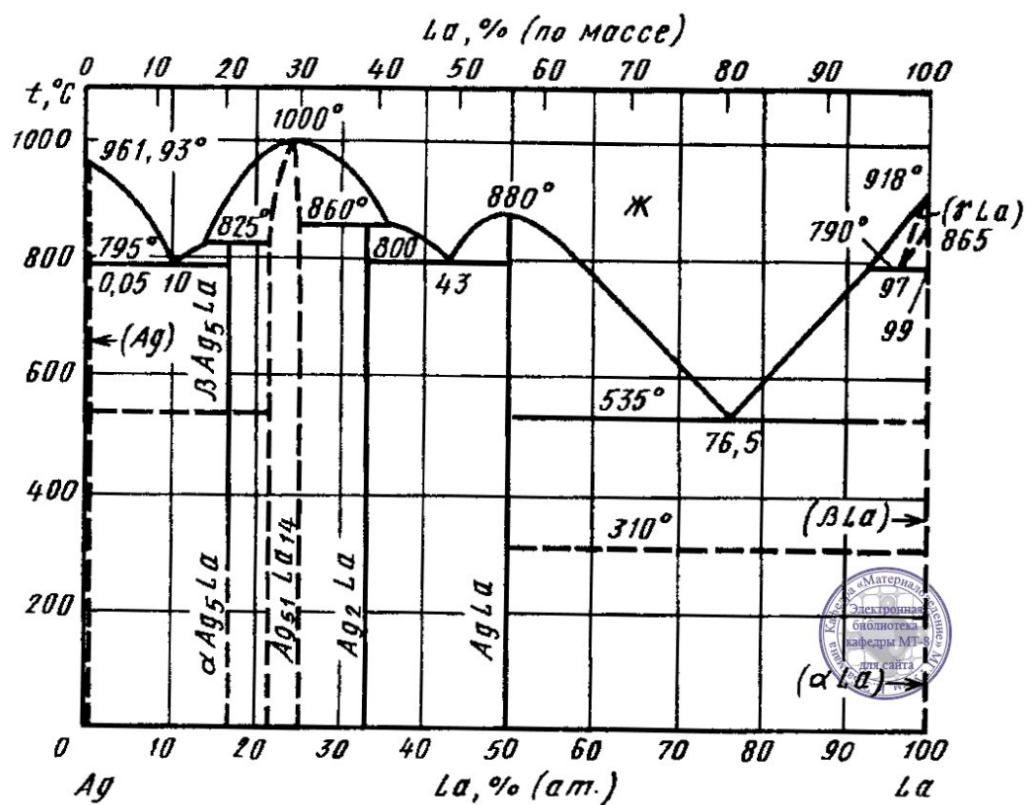


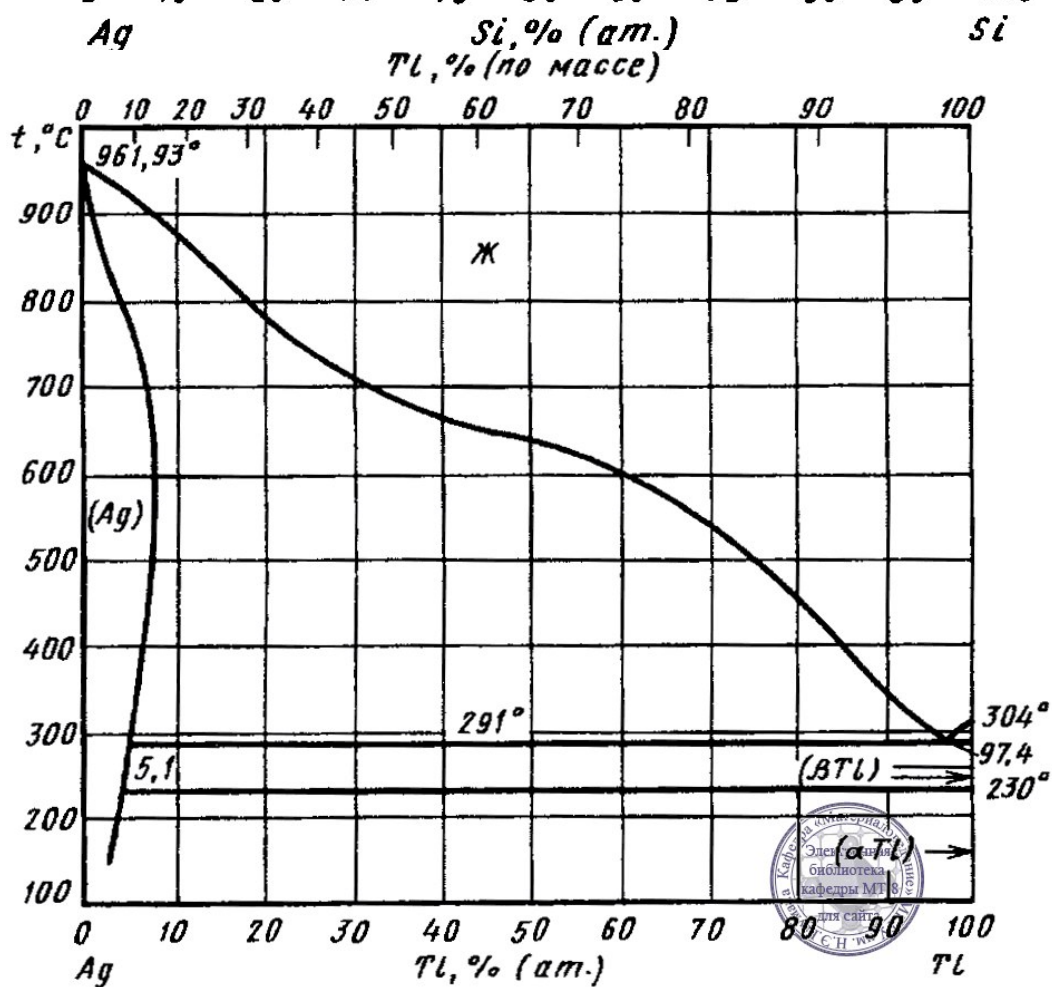
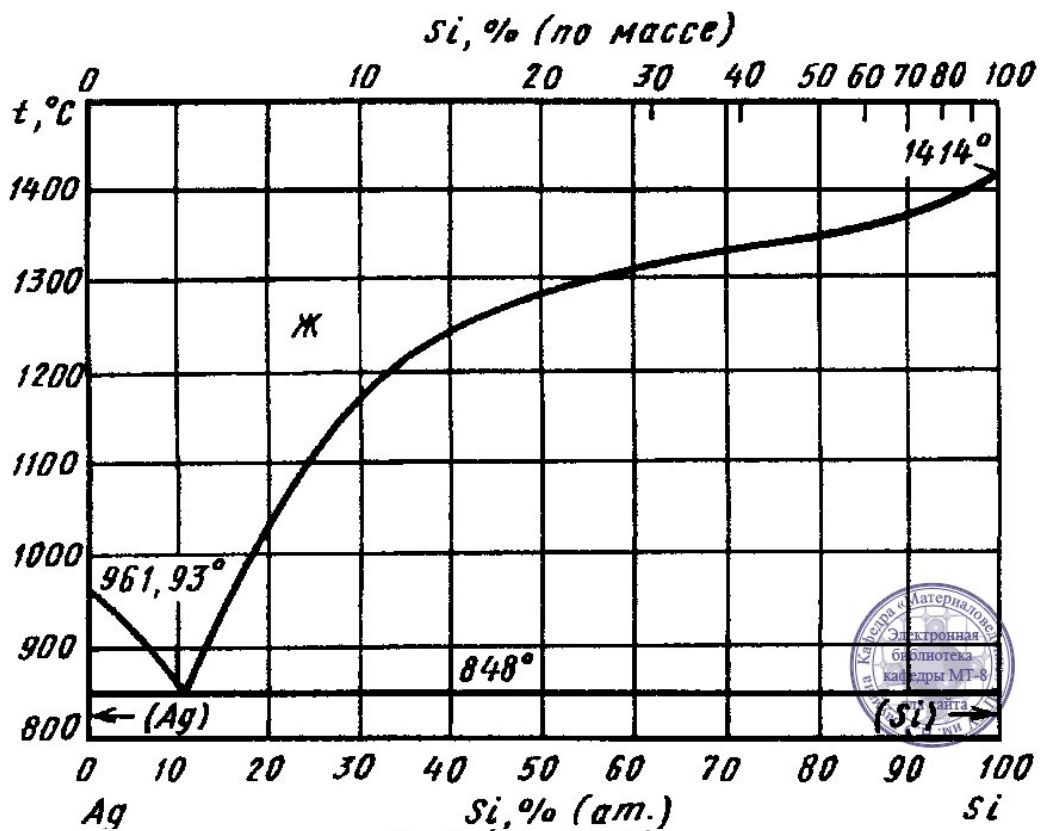


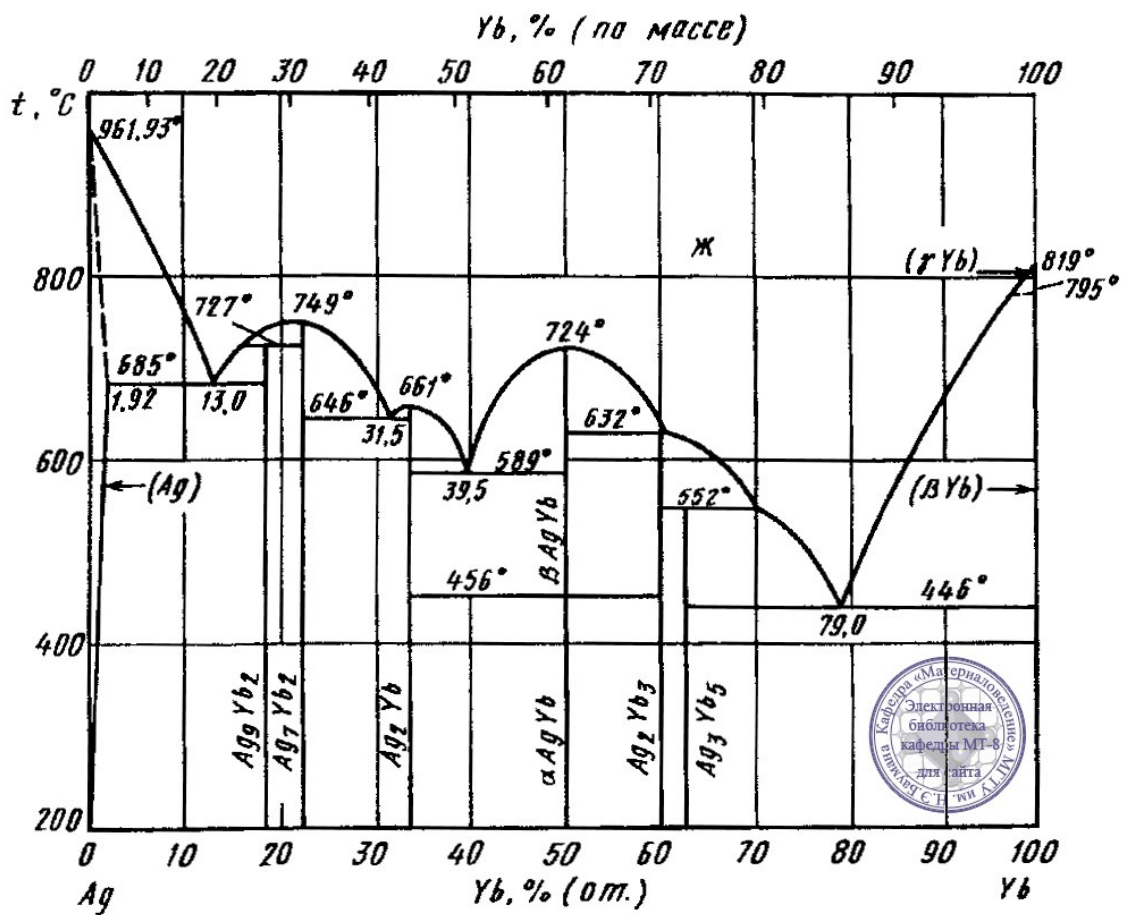












1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Радиоматериалы и радиокомпоненты приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.2 способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	з2. знать основные радиоматериалы и радиокомпоненты	Активные элементы радиоэлектронной промышленности Материалы используемые в технологии производства РЭС Основные понятия и определения о материалах используемых в радиоэлектронной промышленности Пассивные элементы радиоэлектронной промышленности Роль и значение материалов в производстве приборов электронной техники Физические процессы в магнитных материалах Физические процессы в оптических материалах Физические процессы в полупроводниках, проводниках и диэлектриках	РГЗ, Контрольная работа	Зачёт
ОПК.5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	у2. уметь интерпретировать результаты исследования радиоматериалов и радиокомпонентов, критически оценивать результаты расчетов и экспериментов	Материалы используемые в технологии производства РЭС Физические процессы в оптических материалах	Контрольная работа	Зачёт

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 3 семестре - в форме зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.5.

Зачет проводится в письменной форме, по билетам.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 3 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание РГЗ. Требования к выполнению РГЗ, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.5, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.