

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра конструирования и технологии
радиоэлектронных средств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к изучению дисциплины «Материалы и компоненты электроники»
для студентов заочной формы обучения
специальности 36 04 02з «Промышленная электроника»
радиотехнического факультета

Разработали:

зав.кафедрой КиТРЭС, к.т.н., доц. Грозберг Ю.Г,
ст.преподаватель кафедры КиТРЭС Рымарев В.А.

Новополоцк, 2012

1. Цель и задачи дисциплины

1.1. Цель преподавания дисциплины

Программа курса «Материалы и компоненты электроники» разработана для студентов заочной формы обучения специальности 36 04 02з «Промышленная электроника». Целью изучения дисциплины является изучение основ материаловедения, классификации материалов и их основных свойств, принципов подбора материалов для конкретных применений.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Дисциплина предназначена для изучения четырех основных групп материалов, которые используются в электронной технике: диэлектрики, полупроводники, проводники и магнитные материалы.

В настоящее время основные задачи материаловедения связаны с увеличением степени интеграции электронных устройств и минимизацией характеристических размеров элементов. Для этого необходимо наряду с улучшением свойств существующих материалов оптимизацией их состава и структуры, создание новых материалов с целью применения при создании устройств с эффектами размерного квантования.

Для изучения курса «Материалы и компоненты электроники» необходимы знания студентов, полученные (получаемые) при изучении химии и физики.

Курс «Материалы и компоненты электронной техники» является базовым для дисциплин специальности «Промышленная электроника»: «Физические основы электронной техники», «Микроэлектроника и микросхемотехника», «Конструирование РЭС».

○ **знать:**

- природу строения материалов электронной техники;
- принципы подбора материалов для изделий электронной техники;
- принципиальные пути управления свойствами материалов;

○ **уметь характеризовать:**

- основные свойства материалов электронной техники;
- влияние внешних факторов на электрофизические параметры этих материалов;
- условия сохранения стабильности свойств материалов;
- классификацию материалов электронной техники;

○ **уметь анализировать:**

- возможность улучшения свойств существующих материалов;
- возможность создания новых материалов с улучшенными характеристиками в связи с постоянным увеличением степени интеграции электронных устройств и уменьшением размеров характеристических элементов;

○ **приобрести навыки:**

- в исследовании основных электрофизических параметров материалов электронной техники;
- в применении материалов в изделиях микро и наноэлектроники.

Программа для студентов заочной формы обучения рассчитана на объем 8 аудиторных часов. Распределение учебных часов по видам занятий: лекций — 4 часа, лабораторных работ — 4 часа.

2. Виды занятий и формы контроля знаний

Виды занятий, формы контроля знаний	3
Курс	2
Семестр	3
Лекции, ч	4
Экзамен (семестр)	—
Зачет (семестр)	3
Практические, ч	—
Лабораторные занятия, ч	4
Расчетно-графические работы (семестр)	—
Контрольные работы (семестр)	3
Курсовая работа (семестр/часы)	—
Курсовой проект (семестр/часы)	—
Управляемая самостоятельная работа (часы)	—

3. Программа, пояснения, методические указания к темам курса, литература

Первоначальные сведения о предмете даются на установочной лекции. Руководствуясь указаниями преподавателя, программой курса, пояснениями и методическими указаниями к нему, студент-заочник самостоятельно изучает материалы с использованием рекомендованных учебников и учебных пособий и выполняет письменную контрольную работу. Для подробного изучения отдельных вопросов рекомендуется дополнительная литература. На днях заочника согласно расписания проводятся лекции по наиболее актуальным и сложным вопросам.

Дисциплину рекомендуется изучать в последовательности, указанной в программе и методических указаниях. При изучении каждой темы необходимо разобраться в основных понятиях и определениях, с закономерностями процессов, их физической интерпретацией, а в некоторых случаях и математической (в виде формул) и аналитической (для ответа на теретический вопрос).

При изучении теоретического материала, как и при решении задач, необходимо обращать внимание на единицы величины, с которыми производятся математические операции. Следует помнить, что проверка единиц в процессе математических выкладок помогает выявить ошибки, допущенные в ходе математических операций. Надо учитывать, что единица измерения всякой величины, как правило, отражает ее физический смысл.

Для лучшего усвоения материала курса рекомендуется составлять конспект по каждой теме. При возникновении вопросов нужно обращаться за консультацией на кафедру конструирования и технологии радиоэлектронных средств (возможно обращение по электронной почте кафедры — caspirit@gmail.com).

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая сведения о проводниках. Основные понятия зонной теории и принципы классификации материалов.

ТЕМА I. ПРОВОДНИКИ.

Классификация проводниковых материалов. Металлы, металлические сплавы, неметаллические проводящие материалы.

Материалы высокой проводимости. Медь. Получение меди. Марки меди. Специальные сорта меди. Применение. Алюминий. Марки алюминия. Поверхность алюминия. Применение. Сверхпроводники. Применение сверхпроводников. Материалы высокого удельного сопротивления. Манганин. Константан. Хромоникелевые сплавы. Сплавы для термопар.

Тугоплавкие материалы. Вольфрам. Молибден. Тантал. Ниобий. Хром. Ванадий. Титан. Цирконий. Рений. Компоненты электронной техники на их основе.

Благородные металлы. Золото. Серебро. Платина. Палладий. Компоненты электронной техники на их основе.

Неметаллические проводящие материалы. Углеродистые материалы. Композиционные проводящие материалы. Контактные материалы. Керметы. Проводящие материалы на основе окислов.

ТЕМА II. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Классификация диэлектриков. Электроизоляционные и конденсаторные материалы (пассивные). Управляемые диэлектрики (активные). Основные свойства.

Пассивные диэлектрики. Материалы с малыми диэлектрическими потерями (неполярные полимеры). Полимеры: линейные, пространственные, аморфные. Полиэтилен, полистирол, политетрафторэтилен. Материалы с повышенными диэлектрическими потерями (полярные полимеры): поливинилхлорид, полиэтилен-тетрафторат (лавсан), полиамидные смолы, полиметилметакрилат (оргстекло). Композиционные порошковые пластмассы и слоистые пластики. Гетинакс, текстолит, стеклотекстолит. Электроизоляционные компаунды. Неорганические стекла, стеклообразные материалы. Керамические материалы. Компоненты на их основе.

Активные диэлектрики. Классификация. Сегнетоэлектрики и их свойства. Конденсаторная сегнетокерамика. Сегнетоэлектрики с прямоугольной петлей гистерезиса. Электрооптические кристаллы. Материалы нелинейной оптики. Пьезокерамика. Пирозэлектрики. Электреты. Жидкие кристаллы. Материалы для твердотельных лазеров.

ТЕМА III. ПОЛУПРОВОДНИКИ

Классификация полупроводниковых материалов. Простые (элементарные) полупроводники. Полупроводниковые химические соединения. Твердые растворы.

Простые полупроводники. Германий. Получение. Физико-химические и электрические свойства. Очистка и выращивание монокристалла германия. Применение в компонентах электронной техники. Кремний. Получение, физико-химические и электрические свойства. Выращивание монокристаллов. Эпитаксия кремния. Поверхность кремния. Поликристаллический кремний. Карбид кремния. Применение в компонентах электронной техники.

Полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$. Нитриды. Фосфиды. Арсениды. Антимониды. Получение монокристаллов. Компоненты электронной техники на их основе. Полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$. Сульфиды, селениды и теллуриды цинка. Выращивание монокристаллов. Компоненты электронной техники на их основе. Полупроводниковые соединения $A^{IV}B^{VI}$. Халькогениды свинца. Твердые растворы и их применение.

ТЕМА IV. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Классификация веществ по магнитным свойствам. Классификация магнитных материалов. Магнитомягкие, магнитотвердые, материалы специального назначения.

Магнитомягкие материалы для постоянных и низкочастотных магнитных полей. Железо и низкоуглеродистые стали. Карбонильное железо. Технически чистое железо. Кремнистая электротехническая сталь. Низкокоэрцитивные сплавы. Пермаллой, альсиферы. Магнитомягкие высокочастотные материалы. Ферриты. Магнитодиэлектрики. Применение в компонентах электронной техники. Магнитотвердые материалы. Литые высококоэрцитивные сплавы. Магниты из порошков. Магнитотвердые ферриты. Металлические и неметаллические материалы для магнитной записи информации. Магнитные материалы специального назначения. Ферриты и металлические сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса. Ферриты для устройств СВЧ. Магнитострикционные материалы. Их применение в компонентах электронной техники.

Учебно-методические материалы по дисциплине

Основная литература:¹

1. Довгяло, Д.А. Учебно-методический комплекс «Радиоматериалы, основы микроэлектроники и компоненты электронной техники» / Д.А. Довгяло, Ю.Г.Грозберг — Новополюцк: ПГУ, 2009г. *
2. Пасынков, В.В., Материалы электронной техники / В.В. Пасынков, В.С. Сорокин — Спб.: Энергоатомиздат, 2001.
3. Сорокин, В.С. Вопросы, задачи по курсу «Материалы электронной техники» / В.С. Сорокин и др. — С.Петербург, Энергоатомиздат, 2001.
4. Справочник по электротехническим материалам /под ред. Корицкого Ю.В. — М.: Энергоатомиздат, Т.1. 1996. *
5. Справочник по электротехническим материалам /под ред. Корицкого Ю.В. — М.: Энергоатомиздат, Т.2. 1996. *
6. Справочник по электротехническим материалам /под ред. Корицкого Ю.В. — М.: Энергоатомиздат, Т.3. 1996. *
7. Антипов, Б.Л. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы / Б.Л. Антипов, В.С. Сорокин, В.А. Терехов — Спб.: Гардарика, 2001 *
8. Таиров, Ю.М. Технология полупроводниковых диэлектрических материалов / Ю.М. Таиров, В.Ф. Цветков — СПб.: Изд. Лань, 2002. *
9. Айвазов, А.А. Неупорядоченные полупроводники: учебное пособие /А.А. Айвазов — М.: Высшая школа. 1995.
10. Летюк, Л.М. Технология производства материалов магнитоэлектроники: учебник для вузов / Л.М. Летюк — М.: Металлургия, 1994.

¹ Эту и другую литературу можно скопировать на свой носитель информации с любого компьютера в сети университета с адреса в медиатеке факультета <ftp://10.10.101.36/mediateka/Литература по темам/материаловедение>

11. Золотухин, И.В. Новые направления физического материаловедения: учебное пособие / И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стогней — Воронеж: Воронежский университет. 2000.

12. Покровский, Ф.Н. Материалы и компоненты радиоэлектронных средств / Ф.Н. Покровский — М.: Горячая линия — Телеком, 2005. - 351с. *

Дополнительная литература

13. Лабораторный практикум по дисциплине "Материалы конструкций и технология деталей РЭС" для студентов специальности 2303. Ч.II./Сост. Грозберг Ю.Г., Алексеева Т.А. — Новополюцк, НПИ, 1992 – 56с.

14. Медведев, С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов / С.А. Медведев — М.: Высшая школа. 1970. – 540 с.

15. Горелик, С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский — М.: Металлургия, 1998.

16. Преображенский, А.А. Магнитные материалы и элементы / А.А. Преображенский — М.: Высшая школа. 1996. *

17. Крапухин, В.В. Технология материалов электронной техники. Теория процессов полупроводниковой технологии: учебник для вузов / В.В. Крапухин, И.А. Соколов, Г.Д. Кузнецов — М.: Московский институт стали и сплавов (МИСИС), 1995.

18. Зайцев Ю.В., Кузицина Т.К., Кустов Д.Е. Расчет физико-химических характеристик элементов проводников: Методическое пособие. М.: Изд-во МЭИ. 2001.

19. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е. А. Ладыгина. — М.: Сов. Радио, 1980.— 224 с. *

20. Рез, И.С. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике / И.С. Рез, Ю.М. Поплавко — М., 1989 *

21. Вистинь, Л. К. Жидкие кристаллы в устройствах информатики / Л.К. Вистинь, А.С. Лагунов, В.Ф. Ламекин — М.: Радио и связь, 1995. — 208 с. *

22. Мишин, Д.Д. Магнитные материалы / Д.Д. Мишин — М.: Высшая школа, 1991. — 384с. *

23. Палатник, Л.С. Материаловедение в микроэлектронике / Л.С. Палатник, В.К. Сорокин — М.: Энергия, 1978 — 280 с. *

24. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / Под ред. Ю. М. Пятина. — М.: Машиностроение, 1982. — 528 с. *

25. Курносков, А.И. Материалы для полупроводниковых приборов и интегральных схем / А.И. Курносков — М.: Высшая школа, 1975 *

26. Казанцев, А.П. Материалы и компоненты электроники — Мн.: Беларусь, 2008. - 199с. *

27. Петров, К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника / К.С. Петров — СПб.: Питер, 2003. — 512с. *

28. Казанцев, А.П. Радиотехнические материалы: Лаб. практикум по курсам «Радиоматериалы и основы микроэлектроники», «Материалы и компоненты радиоэлектроники», «Материалы электронной техники» для студ. спец. 39 01 01 «Радиотехника», 39 01 03 «Радиоинформатика», 41 01 02 «Микроэлектроника» дневной, вечерней и заочной форм обучения / А.П. Казанцев. – Мн.: БГУИР, 2003. – 59 с. *

29. Раскин, А.А. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники: учебное пособие. Ч.1 / А.А. Раскин, В.К. Прокофьева — М.: Бином, 2010. — 164с. *

30. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине “Материаловедение и материалы электронных средств” / Владим. гос. ун-т ; сост. Т. Н. Фролова. – Владимир : Изд-во Владим. Гос. ун-та, 2009. – 48 с. *

31. Петрова, Л.Г. Электротехнические материалы: Учебное пособие / М.А. Потапов, О.В. Чудина / МАДИ (ГТУ). – М., 2008. - 198 с. *

32. Ежовский, Ю.К., Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов: Учеб. Пособие / Ю.К. Ежовский, О.В. Денисова -СПб. : СЗТУ, 2005. - 80 с. *

4. Контрольная работа

ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа **пишется от руки** стержнем синего или черного цвета. На проверку (на кафедре в аудиторию 407^н, тел (0214) 53-96-23) сдается готовый сброшюрованный и **подписанный студентом** экземпляр работы в папке-скоросшивателе с **отметкой регистрации деканатом радиотехнического факультета**.

Контрольная работа выполняется на **одной** стороне стандартных листов белой бумаги формата А4 (размер 210 x 297 мм). Текст курсовой работы следует писать в рамках (форматках) с соблюдением отступов. Каждая задача или теоретический вопрос оформляются с новой страницы. Перед решением или ответом на вопрос **обязательно** следует привести условие.

Формулы приводятся в тексте работы сразу после первого их упоминания с **обязательной** ссылкой на литературный источник, откуда она взята. Формулы записываются в отдельной строке, по центру. Номера формул пишут в круглых скобках у правого поля листа на уровне формулы. Расшифровку значения каждого символа следует давать с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слова «где».

Ссылки. При цитировании материалов **обязательны** ссылки на цитируемый источник. Каждая ссылка оформляется в квадратных скобках, где указывается порядковый номер источника в списке использованных источников, откуда взят данный материал. Например, запись [3] означает, что цитата взята из третьего источника.

Список использованных источников. Сведения об источниках оформляются специальным списком, где источники даны в порядке обращения к ним. На все приведенные источники должны быть ссылки! Пример списка использованных источников приведен ниже:

1. Палатник, Л.С. Материаловедение в микроэлектронике / Л.С. Палатник, В.К. Сорокин — М.: Энергия, 1978 — 280 с.

2. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник / Под ред. Ю. М. Пятина. — М.: Машиностроение, 1982. — 528 с.

Критерии оценки работы

При приеме и проверке работы преподаватель-руководитель и комиссия в целом оценивают, насколько ее автор:

- справился с разработкой теоретических вопросов, отразил ключевые моменты, раскрыл их, последовательно и логически связанным построил изложение;
- изучил достаточное количество теоретических материалов, проанализировал и переосмыслил результаты анализа;

- верно решил поставленные задачи, верно указал смысл физических величин и их размерность;
- правильно и аккуратно оформил работу.

Работа не допускается к защите если:

- не произведены необходимые расчеты или допущены грубые нарушения в них;
- отсутствуют результаты промежуточных вычислений и\или единицы размерностей;
- нет ссылок на использованные источники или проведенные до этого по тексту расчеты с указанием номера источника или формулы;
- изложение ответа на теоретический вопрос непоследовательно, упущены (не рассмотрены) важные аспекты изучаемой темы;
- студент не проявил должной самостоятельности при подготовке работы, работа свелась к переписыванию литературных источников;
- допущены ошибки в оформлении работы;

Работа не зачитывается если: во время защиты студент не смог объяснить основные результаты работы, не проявил должного уровня владения темой.

СРОК СДАЧИ И ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ

Работа должна быть сдана на проверку не позднее – **24 декабря 2012 года**. В случае несвоевременной сдачи студент не допускается к экзамену. После проверки (в течении 10 дней) преподаватель может

– вернуть с надписью "к исправлению" с указанием недочетов на обратной стороне титульного листа;

– вернуть с надписью «не зачтено» (как правило, в случае большого количества ошибок или наличии грубых ошибок, выполнения не своего варианта и тому подобное) Повторное рецензирование в данном случае проводится **на платной основе**;

– оставить у себя с надписью "к защите", что означает, что работа выполнена верно, а защита пройдет непосредственно на экзамене/лабораторной работе в виде дополнительных вопросов.

Титульный лист с замечаниями не переделывается (даже в случае ошибок на титульном листе)! Исправления вносятся на новых листах в конце работы.

Примечание. Номер варианта соответствует номеру задачи/вопроса в каждой теме (например, вариант 24 означает, что необходимо выполнить задания 1.24, 2.24, 3.24 и 4.24). Если Вас нет в данном списке, обратитесь к преподавателю.

ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

№ варианта	Фамилия студента	№ варианта	Фамилия студента
1	Авласёнок Александр Николаевич	39	Крупко Денис Михайлович
2	Аксёнов Константин Владимирович	40	Крысов Руслан Сергеевич
3	Алейник Алексей Олегович	41	Лебедев Александр Александрович
4	Александров Андрей Сергеевич	42	Лихоманов Роман Юрьевич
5	Амбразевич Евгений Игоревич	43	Любашков Юрий Дмитриевич

№ варианта	Фамилия студента	№ варианта	Фамилия студента
6	Антонюк Дмитрий Сергеевич	44	Мазаник Александр Олегович
7	Астапенко Максим Михайлович	45	Маркович Андрей Васильевич
8	Белясов Сергей Игоревич	46	Мацкевич Сергей Чеславович
9	Бурак Кристина Анатольевна	47	Муравей Алексей Викторович
10	Бучелис Алина Павловна	48	Набиев Самир Натикович
11	Бучелис Юлия Павловна	49	Николаёнок Кирилл Викторович
12	Вертинский Александр Анатольевич	50	Новицкий Денис Марьянович
13	Вжос Дмитрий Владимирович	51	Палюшин Андрей Михайлович
14	Влащенко Евгений Олегович	52	Педченко Сергей Николаевич
15	Волков Антон Петрович	53	Пильсть Сергей Иосифович
16	Володько Андрей Сергеевич	54	Поддубцев Николай Александрович
17	Воронцов Дмитрий Владимирович	55	Полянис Александр Эдвардович
18	Гончаров Виталий Леонидович	56	Послед Виталий Константинович
19	Данченко Евгений Валерьевич	57	Протасенко Кирилл Олегович
20	Дегтярёв Андрей Валерьевич	58	Родионов Евгений Александрович
21	Денисов Виталий Юрьевич	59	Сафиев Ихтияр Низами Оглы
22	Дехтяронок Виталий Владимирович	60	Соболевский Евгений Владимирович
23	Дударенок Дмитрий Григорьевич	61	Соловьев Иван Мечеславович
24	Жаворонок Андрей Витальевич	62	Старикович Вадим Владимирович
25	Забавский Игорь Валерьевич	63	Стельмашок Алексей Александрович
26	Забродин Дмитрий Сергеевич	64	Тямолов Сергей Андреевич
27	Зварич Максим Васильевич	65	Урбанович Наталья Петровна
28	Зинкевич Екатерина Георгиевна	66	Шапковская Татьяна Александровна
29	Иванов Павел Геннадьевич	67	Шашенько Иван Валерьевич
30	Иващенко Павел Сергеевич	68	Шкред Александр Валерьевич
31	Карпович Сергей Николаевич	69	Яриго Сергей Владимирович
32	Карчевский Александр Иванович	70	Ястребов Евгений Андреевич
33	Козаченок Анна Николаевна	71	Ясюкевич Сергей Владимирович
34	Козин Алексей Александрович	72	резерв
35	Конюхов Виктор Николаевич	73	резерв
36	Костюшко Виктор Викторович	74	резерв
37	Кохнович Роман Михайлович	75	резерв
38	Кравченко Вадим Викторович	76	резерв

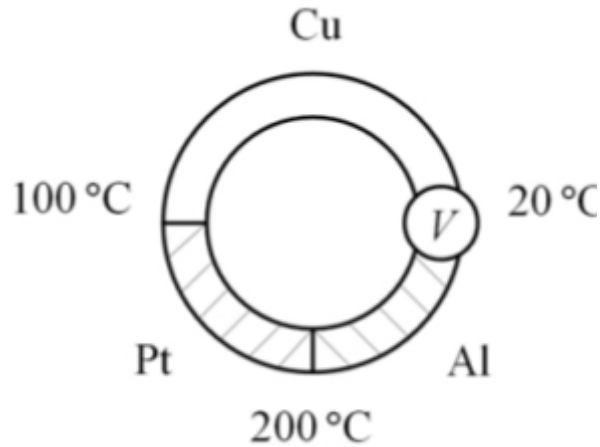
ТЕМА «ПРОВОДНИКИ»

- 1.1. Вычислить падение напряжения на включенном на 75% реостате, изготовленном из константановой проволоки длиной 15 м при плотности тока 7.5 А/мм^2 . Удельное сопротивление константана принять равным $0,47 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.
- 1.2. Длина свободного пробега электронов в меди при $T = 20^\circ\text{C}$ равна $35\cdot 10^{-6} \text{ мм}$, плотность меди $d = 8950 \text{ кг/м}^3$, атомная масса $M = 63,54$. Найти удельное сопротивление меди.
- 1.3. Для отопления помещения используют электрокамин, включаемый в сеть напряжением 220 В. Помещение теряет в сутки $3\cdot 10^3 \text{ МДж}$ теплоты. Требуется поддерживать температуру в нем неизменной. Найти: а) сопротивление нагревательного элемента; б) длину нихромовой проволоки диаметром 2 мм, используемой для намотки спирали нагревательного элемента; в) мощность нагревателя. Удельное электрическое сопротивление нихрома $1,05 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.
- 1.4. Из медной ленты шириной 1,5 см и толщиной 1,1 мм необходимо изготовить шунт сопротивлением $0,75 \text{ Ом}$. Какой длины должна быть медная лента, если удельное сопротивление меди $0,018 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$?
- 1.5. К алюминиевой проволоке длиной 50 м и диаметром 0,8 мм приложено напряжение 22,2 В. Сколько электронов пройдет через поперечное сечение проводника за 80 с, если удельное сопротивление алюминия равно $0,028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$?
- 1.6. Какие характеристики проводников зависят от температуры? Объясните, почему тонкие металлические пленки имеют отрицательный температурный коэффициент удельного сопротивления.
- 1.7. Катушка из манганиновой проволоки имеет сопротивление 14 Ом . Масса проволоки 0,2 кг. Определить длину и диаметр намотанной в один виток на катушку проволоки.
- 1.8. Манганиновый и константановый провода равного диаметра имеют одинаковые сопротивления. Определить отношение длин этих проводов. Вычислить, во сколько раз отличаются масса манганинового и константанового провода.
- 1.9. Материалы для изготовления нитей и спиралей ламп накаливания. Каким образом обеспечиваются прочность и формоустойчивость вольфрамовых нитей и спиралей при высоких температурах эксплуатации?
- 1.10. Материалы для экранирования от высокочастотных магнитных полей. Характеристики, марки.
- 1.11. На баллоне электрической лампы накаливания написано: 220 В, 99 Вт. Для измерения сопротивления нити накала в холодном состоянии на лампу подали напряжение 4 В, при этом сила тока была 42 мА. Оценить температуру накала нити лампы из вольфрама, работающей в номинальном режиме.
- 1.12. На баллоне электрической лампы написано: 220 В, 60 Вт. Для измерения сопротивления нити накала в холодном состоянии на лампу подали напряжение 15 В, при этом сила тока была 87 мА. Оценить температуру накала ренийевой нити лампы, работающей в номинальном режиме.
- 1.13. Неметаллические проводящие материалы. Примеры использования в компонентах электронной техники.
- 1.14. Один спай термопары помещен в печь с температурой 520°C , другой находится при температуре 18°C . Вольтметр показывает при этом термоЭДС $1,97 \text{ мВ}$. Чему равна термоЭДС, если второй спай термопары поместить в сосуд: а) с та-

ющим льдом; б) с кипящей водой? Относительную удельную термоЭДС во всем температурном диапазоне считать постоянной.

- 1.15. Определить длину константановой проволоки диаметром 1,5 мм, используемой для изготовления нагревательного устройства с сопротивлением 35 Ом при температуре 880°C, полагая, что при 20°C для константана удельное сопротивление $\rho = 1,05 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$; температурный коэффициент электрического сопротивления $\alpha_p = 14 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$; температурный коэффициент линейного расширения $\alpha_l = 1,45 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.
- 1.16. Оценить удельную теплопроводность λ_T никелина при температуре 0°C, если удельное сопротивление при 300°C равно 0,40 Ом·мм²/м, а температурный коэффициент удельного сопротивления составляет $0,1 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$.
- 1.17. При включении в электрическую цепь проводника диаметром 2 мм и длиной 1400 мм разность потенциалов на концах проводника составила 2,68 мВ при токе 0,56 А. Определить удельное сопротивление материала проводника.
- 1.18. При нагревании провода из константана длиной 10,5 м и диаметром 0,75 мм от 20 до 8°C его сопротивление уменьшается на 0,21 Ом, а длина возрастает на 0,14%. Определить температурный коэффициент удельного сопротивления. При расчетах принять, что при комнатной температуре для константана удельное сопротивление $\rho = 1,05 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.
- 1.19. Проводящие материалы на основе окислов. Примеры использования в компонентах электронной техники.
- 1.20. Сопротивление провода из манганина при 20°C равно 770 Ом. Определить сопротивление этого провода при 500°C, если при 25°C температурный коэффициент удельного сопротивления манганина $\alpha_p = 2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, а температурный коэффициент линейного расширения составляет $\alpha_l = 4 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.
- 1.21. Сплавы для термопар. Характеристики, область применения.
- 1.22. Сравнительная характеристика материалов высокой проводимости. Примеры использования в компонентах электронной техники.
- 1.23. Ток в цепи, состоящей из термопары сопротивлением 0,8 Ом и гальванометра сопротивлением 7,1 Ом, равен 0,75 мА в случае, когда спай термопары помещен в среду с температурой 137°C. Чему равна удельная термоЭДС термопары при температуре окружающей среды 23°C.
- 1.24. Удельное сопротивление серебра при комнатной температуре равно 16 мкОм·мм, температурный коэффициент удельного сопротивления составляет $4,2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{К}^{-3}$. Определить, как и во сколько раз изменяется длина свободного пробега электронов при нагревании проводника от 20°C до 273°C.
- 1.25. Характеристики и применение материалов высокого удельного сопротивления.
- 1.26. Хромалевый и никелиновый провода равной длины имеют сопротивления, относящиеся как 2 к 3. Определить отношение диаметров этих проводов. Вычислить, во сколько раз отличаются их массы. Удельное сопротивление никелина 0,42 Ом·мм²/м, хромалея - 1,42 Ом·мм²/м.
- 1.27. Аморфные металлы. Применение. Методы получения. Электронные свойства.
- 1.28. Благородные металлы. Компоненты электронной техники на их основе.

- 1.29. В замкнутую цепь, состоящую из медного, алюминиевого и платинового проводников, включен милливольтметр (см. рисунок). Какую термоЭДС покажет прибор при температуре спаев, указанной на рисунке, если для меди абсолютная удельная термоЭДС $\alpha_{\text{Cu}} = 1,75 \text{ мкВ}\cdot\text{К}^{-1}$, для алюминия $\alpha_{\text{Al}} = -1,38 \text{ мкВ}\cdot\text{К}^{-1}$, для платины $\alpha_{\text{Pt}} = -5,05 \text{ мкВ}\cdot\text{К}^{-1}$. Определить удельную термоЭДС алюминия относительно меди и относительно платины.



- 1.30. Вычислить длину свободного пробега электронов в серебре при $T = 373 \text{ К}$.
- 1.31. Вычислить падение напряжения на включенном на три четверти реостате, изготовленном из манганиновой проволоки длиной 85 м при плотности тока $0,45 \text{ А/дм}^2$. Удельное сопротивление манганина принять равным $0,45 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.
- 1.32. Вычислить, во сколько раз сопротивление R фехралевого провода круглого сечения диаметром $d = 1,5 \text{ мм}$ на частоте $f = 10 \text{ МГц}$ больше сопротивления R_0 этого провода постоянному электрическому току.
- 1.33. Использование проводящих материалов для экранирования от электромагнитных полей.
- 1.34. Как изменится активное сопротивление катушки индуктивности, изготовленной из медного провода диаметром $1,5 \text{ мм}$, на частоте $5,5 \text{ МГц}$, если медный провод покрыть слоем золота толщиной 18 мкм .
- 1.35. Контактные материалы. Керметы. Марки и применение.
- 1.36. Материалы для безыскровых контактов и их свойства.
- 1.37. На диэлектрическую подложку нанесена металлическая пленка толщиной $0,8 \text{ мкм}$, имеющая форму прямоугольника размерами $3 \times 8 \text{ мм}$. Сопротивление пленки при напряжении, приложенном в продольном направлении, составляет 95 Ом . Определить сопротивление квадрата пленки, а также сопротивление пленки в поперечном направлении (параллельно меньшей стороне прямоугольника).
- 1.38. Найти количество теплоты, которое выделяется каждую секунду в единице объема хромалевого провода при плотности тока $4 \text{ А}\cdot\text{м}^{-2}$.
- 1.39. Найти отношение глубин проникновения электромагнитного поля в серебряный и золотой проводники для частот 50 Гц и 1 МГц .
- 1.40. Один полюс источника тока присоединен к электрической схеме алюминиевым проводом, а другой – медным проводом диаметра в $1,5$ раза меньше. Сравнить скорости дрейфа электронов в подводящих проводах, считая, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости, а на каждый атом алюминия – три электрона проводимости.

- 1.41. Окно с высотой 2,2 метра и шириной 1,5 метра необходимо защитить от вскрытия металлической полосой шириной 6 мм. Расстояние между полосой и краем окна — 5 см. Какое сопротивление будет у всей полосы, если ее делать а) из алюминиевой фольги; б) из золотой фольги.
- 1.42. Определить внутреннюю контактную разность потенциалов, возникающую при соприкосновении двух металлов с концентрацией свободных электронов $n_1 = 4 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ и $n_2 = 1,8 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$.
- 1.43. Определить время, в течение которого электрон пройдет $l = 40$ км по алюминиевому проводу при напряжении $U = 380$ В. За какое время он прошел бы это расстояние, двигаясь без соударений?
- 1.44. Пленочный резистор состоит из трех одинаковых участков, имеющих различные сопротивления квадрата пленки $R_{\text{кв1}} = 14$ Ом; $R_{\text{кв2}} = 24$ Ом; $R_{\text{кв3}} = 34$ Ом. Определить сопротивление резистора.
- 1.45. Применение легкоплавких металлов в радиоэлектронных устройствах.
- 1.46. Стержень из графита соединен последовательно с хромалевым стержнем того же сечения. Определить, при каком соотношении их длин сопротивление этой композиции не зависит от температуры. Удельные сопротивления хромала и графита равны соответственно $1,4 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ и $8,0 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, температурные коэффициенты сопротивления $150 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ и минус $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$.
- 1.47. Технологические факторы, влияющие на свойства аморфных металлов.
- 1.48. Требуется изготовить проволоку, которая выдерживает растяжение $F = 60$ Н без пластической деформации, причем её сопротивление должно быть $\leq 0,015$ Ом. Определить и сравнить наименьший допустимый диаметр проволоки. Какая экономически более выгодна, если цена алюминия в 1,5 раза ниже цены меди? (Для отожженных Cu и Al $\sigma_T(\text{Cu}) = 70$ МПа; $\sigma_T(\text{Al}) = 35$ МПа)
- 1.49. Тугоплавкие материалы. Применение в компонентах электронной техники.
- 1.50. Углеродистый резистор и проволочный резистор, изготовленный из нихрома, имеют одинаковое номинальное сопротивление $R_{\text{ном}} = 70$ Ом. Резисторы соединены параллельно и включены под напряжение $U = 36$ В. Одинаковая ли мощность будет выделяться на этих резисторах?
- 1.51. Удельное сопротивление меди, содержащей 0,3 % атомов олова, при температуре 300 К составляет $0,0249 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$. Определить отношение удельных сопротивлений меди при температуре 303 и 4,2 К. Во сколько раз изменится это отношение если содержание олова в медном проводнике снизить до 0,03 % атомов?
- 1.52. Явление сверхпроводимости. Сверхпроводящие материалы, сверхпроводящая керамика. Применение сверхпроводников. Перспективные технологии использования.
- 1.53. Определить отношение глубин проникновения электромагнитного поля в алюминиевый и стальной проводники на частоте 60 Гц и 1 МГц. При расчете полагать, что для малоуглеродистой стали $\mu = 1050$; $\rho = 0,089 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.
- 1.54. Найти сопротивление квадрата поверхности плоского проводника из серебра на частоте 12 МГц. Удельное сопротивление серебра постоянному току принять равным $0,0148 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.
- 1.55. Будет ли отличаться выбор материала для токоведущих шин на открытом воздухе в умеренном климате и условиях крайнего Севера. На что могут влиять

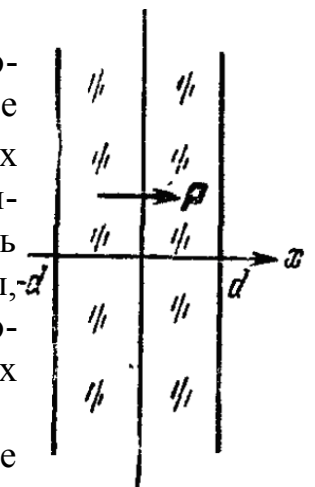
низкие температуры? Какие меры могут повысить эффективность передачи электроэнергии в условиях низких температур?

- 1.56. Никелин, нейзильбер, хромаль. Свойства, характеристики и области применения.
- 1.57. Материалы для толстопленочных резисторов. Марки, характеристики. Как обеспечить толстопленочным резистором рассеивание большой мощности.
- 1.58. Определить температурный коэффициент линейного расширения α_l и удлинение фехральной проволоки, если известно, что при повышении температуры от 20 до 1000 °С электрическое сопротивление проволоки изменяется от 80 до 86,6 Ом. Длина проволоки в холодном состоянии $l = 160$ м. Температурный коэффициент удельного сопротивления фехраля принять равным $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- 1.59. У каких проводящих материалов наибольшее значение температурных коэффициентов линейного расширения и удельного сопротивления? Где в компонентах электроники такие материалы применяются?
- 1.60. У каких проводящих материалов наибольшее значение имеет работа выхода электронов из металла. Где в компонентах электроники такие материалы применяются?
- 1.61. Из каких материалов и почему делают очень тонкие проводящие проволоки? Как хрупкость влияет на выбор такого материала?
- 1.62. Сколько теплоты выделится за 2 час в алюминиевой токопроводящей шине при длине 80 метров и плотности тока $20 \text{ A} \cdot \text{м}^{-2}$?
- 1.63. За какое время электрон пройдет по медному кольцевому проводнику диаметром 18 см расстояние 20 км при напряжении 36 В?
- 1.64. Один полюс источника присоединен проволокой из хрома с диаметром $d/4$. Второй полюс — медной проволокой диаметром d . Сравнить скорости дрейфа электронов, считая, что на каждый атом хрома приходится пять электронов проводимости, а на каждый атом меди — один электрон проводимости.
- 1.65. Имеется нихромовая проволока диаметром 0,13 см. Какой длины необходимо намотать нагревательный элемент, чтобы при напряжении 220 В в нем выделялось за 2 минуты 300 Дж.
- 1.66. Имеется медная проволока диаметром 0,5 мм. Какое количество параллельных соединений необходимо, чтобы на длину 3 метра передавалось напряжение 48 В с потерями, не большими 0,0001%.
- 1.67. Углеродистый резистор и проволочный резистор, изготовленный из фехраля, имеют одинаковое номинальное сопротивление $R_{\text{ном}} = 150 \text{ Ом}$. Резисторы соединены сначала параллельно, затем последовательно под напряжение $U = 42 \text{ В}$. Как будут соотноситься выделяемые мощности на этих резисторах?
- 1.68. Какие материалы применяются для соединения контактных площадок на кремнии с выводами микросхем? Что предпринимают для повышения адгезии?
- 1.69. Какие материалы следует рассматривать для изготовления проволочного переменного резистора с высокой стабильностью в широком температурном диапазоне? Приведите их характеристики.
- 1.70. Определить мощность потерь в алюминиевых проводах контактной трамвайной сети напряжением 600 Вольт и длиной 14 км, пока трамвай со средней скоростью 20 километров в час проезжает от одной конечной остановки до другой.

- 1.71. Из каких материалов рационально изготавливать токоведущие шины в искробезопасных зонах? Как обеспечивается отсутствие искрения при соединении с отводящими проводниками?
- 1.72. Какие материалы используют для электрического соединения кристаллов микросхем и металлических выводов в корпусах? Какие характеристики следует рассматривать?
- 1.73. Какие материалы используют для улучшения адгезии наносимых металлических пленок к кристаллам микросхем и печатным платам.
- 1.74. Какие материалы следует рассматривать для изготовления очень гибких высоковольтных кабелей? Какие характеристики следует рассматривать?
- 1.75. Какие материалы следует рассматривать для изготовления высокочастотных кабелей и соединителей? Какие характеристики следует рассматривать?
- 1.76. Из каких материалов рационально изготавливать заземление? Какие характеристики следует рассматривать?

ТЕМА "ДИЭЛЕКТРИКИ".

- 2.1. В каких материалах и в каких условиях проявляются нелинейные оптические эффекты? Приведите примеры практического использования нелинейности оптических свойств кристаллических диэлектриков.
- 2.2. Что понимают под линейными и нелинейными, полярными и неполярными диэлектриками? Какие из перечисленных видов диэлектриков могут быть использованы на высоких частотах?
- 2.3. Диэлектрические материалы, наиболее часто применяемые в качестве изоляторов. Почему для изоляции обмоточных проводов трансформаторов и электродвигателей используют терморезистивные, а не термопластичные лаки?
- 2.4. В чем различие между ионной и ионно-релаксационной поляризацией? Что характеризует время релаксации и от каких факторов оно зависит?
- 2.5. Назовите носители зарядов, создающих токи утечки в газовых, жидких и твердых диэлектриках. Каков механизм электропроводности твердых диэлектриков? Как влияет температура на их удельную проводимость? В каких случаях можно пренебречь поверхностной электропроводностью?
- 2.6. Пластина пьезодиэлектрика толщины $2d$ вследствие неоднородной деформации поляризована так, что поляризация в ее середине равна P_0 и изменяется по закону $P=P_0(1-x^2/d^2)$, где x отсчитывается от средней плоскости пластины. Вектор поляризации направлен вдоль оси x (см. рисунок). Определить напряженность электрического поля внутри и вне пластины, а также разность потенциалов между ее боковыми поверхностями. Краевыми эффектами пренебречь. Процессы в жидких диэлектриках под действием сильных электрических полей.
- 2.7. В каких единицах выражают удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления диэлектриков? Дайте определения этих физических величин. Почему их экспериментальное определение рекомендуют проводить при постоянном, а не при переменном напряжении, а также через 1 мин после подачи напряжения на диэлектрик?



- 2.8. Почему диэлектрики не используют в качестве датчиков температуры, несмотря на сильную температурную зависимость их проводимости.
- 2.9. Вычислить на частоте 50 Гц тангенс угла диэлектрических потерь хорошо очищенного трансформаторного масла, удельное объемное сопротивление которого равно $5 \cdot 10^{11}$ Ом·м и диэлектрическая проницаемость $\epsilon=2,85$.
- 2.10. Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ неполярного диэлектрика на частоте 50 Гц равен $1,38 \cdot 10^{-3}$. Вычислить активную мощность рассеяния P_a в конденсаторе из этого диэлектрика на частоте $f=1,9$ кГц при напряжении 1,5 кВ, если емкость конденсатора C равна 3300 пФ.
- 2.11. Что называют поляризацией диэлектрика? Какие виды поляризации можно считать мгновенными, а какие замедленными? Укажите взаимосвязь между видами поляризации и механизмом диэлектрических потерь.
- 2.12. Какая электрическая упорядоченность свойственна сегнетоэлектрикам? Как объяснить явление диэлектрического гистерезиса и нелинейность зависимости заряда от напряжения
- 2.13. Активная мощность рассеяния P_{a1} в кабеле с изоляцией из полиэтилена при напряжении $U=30$ В частотой 1 МГц равна 250 мкВт. Чему равна активная мощность рассеяния P_{a2} в этом же кабеле при напряжении 20 В частотой 3 МГц? Считать, что потери в полиэтилене обусловлены только сквозной электропроводностью.
- 2.14. Какие диэлектрики называют активными? Чем отличаются требования к активным и пассивным диэлектрикам?
- 2.15. Что такое пироэлектрический эффект? Как его можно охарактеризовать количественно? Где применяют пироэлектрики? В каких условиях сегнетоэлектрики проявляют пироэлектрические свойства?
- 2.16. Что такое прямой и обратный пьезоэффект? В каких диэлектриках можно наблюдать эти явления? Приведите примеры практического использования пьезоэффекта?
- 2.17. В чем различие между жидким состоянием вещества и «жидким кристаллом»? Как классифицировать жидкие кристаллы по виду симметрии? Какие из них находят наиболее широкое применение в электронной технике и для каких целей?
- 2.18. Какие диэлектрические материалы и почему применяют при защите от высокочастотного малого тока? Какие диэлектрические материалы и почему применяют при защите от статического электричества?
- 2.19. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора $S=8500$ мм². Расстояние между пластинами $d=1,5$ мм. К пластинам приложена разность потенциалов $U=127$ В. После отключения конденсатора от источника питания пространство между пластинами заполняется эбонитом. Какова будет разность потенциалов U между пластинами после заполнения? Найти емкость конденсатора и поверхностную плотность заряда на пластинах после заполнения. Диэлектрическая проницаемость эбонита 2,73.
- 2.20. Что такое электреты. Какими характеристиками описываются такие материалы. Применение в компонентах электроники.

- 2.21. Внутри плоского конденсатора, обкладки которого соединены между собой, помещена диэлектрическая пластина толщины h с «замороженной» поляризацией $P = \text{const}$. Вектор поляризации перпендикулярен боковым граням пластины и обкладкам конденсатора. Определить напряженность электрического поля и индукцию внутри пластины. Расстояние между обкладками конденсатора равно d .
- 2.22. В качестве чувствительных элементов каких типов датчиков могут применяться диэлектрики? Какие характеристики диэлектриков при этом используются? Приведите не менее двух примеров подобных датчиков.
- 2.23. Какие диэлектрики используются в качестве оптически-прозрачных? Какие материалы могут изменять поляризацию проходящего света? Где подобные материалы применяются?
- 2.24. Какие диэлектрические материалы обладают ярко выраженной спонтанной поляризацией? Применение в компонентах электроники.
- 2.25. В результате импульсного разряда конденсатора через разреженный газ — водород происходит нагревание газа до температуры T . Оценить величину T , предполагая, что вся энергия разряда пошла на нагревание газа. Указать возможные причины понижения температуры. Проведите числовые оценки для $U = 10 \text{ кВ}$, $C = 16 \text{ мкФ}$, полагая, что до разряда водород находился при комнатной температуре $T_0 = 293 \text{ К}$ и занимал объем $V = 10^{-2} \text{ м}^3$ при давлении $p = 1,31 \text{ Н/м}^2$. Оценить, насколько нагрелись бы обкладки конденсатора, если бы вся энергия разряда пошла на их нагревание. Удельная теплоемкость меди $c = 420 \text{ Дж/(К·кг)}$, масса обкладок $m = 0,15 \text{ кг}$.
- 2.26. Для каких сегнето- и пьезоэлектриков описание эффекта не требует тензорных уравнений. Где и как можно применять сегнето- и пьезоэлектрики с существенной анизотропией?
- 2.27. В дисковом керамическом конденсаторе емкостью $C = 330 \text{ пФ}$, включенном на переменное напряжение $U = 220 \text{ В}$ частотой $f = 2 \text{ МГц}$, рассеивается мощность $P_a = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$. Определить реактивную мощность, тангенс угла диэлектрических потерь и добротность конденсатора.
- 2.28. Определить поляризованность монокристалла каменной соли, считая, что смещение ионов под действием электрического поля от положения равновесия составляет 1.5% расстояния между ближайшими соседними ионами. Элементарная ячейка кристалла имеет форму куба, расстояние между соседними ионами $a = 0,27 \text{ нм}$.
- 2.29. Какие диэлектрические материалы применяются для защиты от инфракрасного и ультрафиолетового излучений. Какие характеристики материалов для подобного применения наиболее важны?
- 2.30. Изоляционные материалы высоковольтных гибких проводов и кабелей. Какие характеристики являются ключевыми при выборе такого материала?
- 2.31. Какие диэлектрики используются в компонентах электроники, работающих под высоким и низким давлением. Какие свойства диэлектриков важны при вакууме $10^{-7} — 10^{-9}$?
- 2.32. Какими способами и для каких целей производят изделия из композиционных пластмасс?

- 2.33. Между пластинами плоского конденсатора без воздушных промежутков зажат лист стеклотекстолита толщиной $h = 1,5$ мм. На конденсатор подано напряжение $U = 220$ В. Определить поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора q_1 и на диэлектрике q_d . Диэлектрическую проницаемость материала принять равной 5.4.
- 2.34. Гетинакс, текстолит, стеклотекстолит. Характеристики, сравнение.
- 2.35. Композиционный керамический материал изготовлен на основе двух диэлектриков с диэлектрическими проницаемостями $\epsilon_1=40$ и $\epsilon_2=80$. Предполагая хаотическое распределение компонентов, определить состав термокомпенсированной керамики, если $\alpha_{\epsilon 1}=2 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, $\alpha_{\epsilon 2}=-1,5 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. Чему равна диэлектрическая проницаемость композиционного диэлектрика?
- 2.36. Определить плотность вспененного полистирола (пенополистирола), имеющего диэлектрическую проницаемость $\epsilon_{\text{всп}}=1,5$. Какую долю объема этого материала занимает воздух? Вспениванию подвергался полистирол с параметрами $\epsilon=2,6$; $d=1050 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.
- 2.37. Материалы с повышенными диэлектрическими потерями. Примеры, характеристики, области использования.
- 2.38. Керамические материалы. Компоненты электронной техники на их основе.
- 2.39. Приведите примеры установочных высокочастотных керамических диэлектриков. Назовите наиболее характерные области их применения.
- 2.40. Какие виды стекол нашли наиболее широкое применение в изделиях электронной техники и для каких целей?
- 2.41. Чем отличается строение кристаллического кварца и силикатных стекол? Почему стеклообразование вещества является термодинамически неустойчивым? Какие процессы происходят в стекломассе при медленном охлаждении?
- 2.42. Охарактеризуйте физико-механические, электрические, оптические и технологические свойства кварцевого стекла. Как объяснить высокую стойкость кварцевого стекла к тепловым импульсам?
- 2.43. Почему ситаллы и силикатные стекла одинакового химического состава обладают разными электрическими, механическими и теплофизическими свойствами? С какой целью в состав силикатных стекол вводят оксиды щелочных металлов?
- 2.44. Поведение диэлектриков под воздействием мощных ионизирующих излучений.
- 2.45. Две противоположные грани куба с ребрами $a=20$ мм из диэлектрического материала с удельным объемным сопротивлением $\rho_v=10^{10}$ Ом·м и удельным поверхностным сопротивлением $\rho_s=10^{11}$ Ом покрыты металлическими электродами. Определить ток, протекающий через эти грани куба при постоянном напряжении $U_0=2$ кВ.
- 2.46. В каких диэлектриках можно наблюдать прямой и обратный пьезоэффект? Приведите примеры практического использования пьезоэффекта?
- 2.47. Пленочный конденсатор из поликарбоната с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3.1$ теряет за время 50 мин две трети сообщенного ему заряда. Полагая, что утечка заряда происходит только через пленку диэлектрика, определить его удельное сопротивление.
- 2.48. Какие материалы могут применяться для печатных плат, кроме стеклотекстолита и гетинакса? Какими преимуществами и недостатками они обладают?

- 2.49. Цилиндрическая трубка внешним диаметром 30 мм, внутренним диаметром 12 мм, длиной 20 мм из диэлектрика с удельным объемным сопротивлением 10^{13} Ом·м и удельным поверхностным сопротивлением 10^{14} Ом покрыта с торцов металлическими электродами. Чему равно сопротивление между электродами?
- 2.50. Какие материалы для печатных плат применяют, если: а) есть особые требования к негорючести; б) необходим крайне малый тангенс угла диэлектрических потерь; в) толщина печатной платы должна быть очень малой; г) прогиб платы при установке массивных элементов был наименьшим? Какие характеристиками для выбора являются ключевыми в каждом случае?
- 2.51. Как ведут себя диэлектрики при воздействии мощных магнитных полей? Экстремально низких температур? Циклическом воздействии больших перепадов влажности? Что такое гигроскопичность материала? В каком случае она критична?
- 2.52. Кубик из диэлектрика с ребром 0,11 м имеет удельное объемное сопротивление 10^{12} Ом·м и удельное поверхностное сопротивление $5 \cdot 10^{12}$ Ом. На противоположные грани кубика нанесены электроды, к которым приложено напряжение частотой 2 МГц. Определить модуль комплексной проводимости кубика на этой частоте, если его диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 55$.
- 2.53. Прямоугольная трубка с внешними размерами 60×40 мм, внутренними размерами 30×30 мм, длиной 15 мм из диэлектрика с удельным объемным сопротивлением 10^{12} Ом·м и удельным поверхностным сопротивлением $3 \cdot 10^{14}$ Ом покрыта с торцов металлическими электродами. Чему равно сопротивление между электродами?
- 2.54. Действие ионизирующего излучения на электроизоляционные материалы.
- 2.55. При комнатной температуре тангенс угла диэлектрических потерь ультрафарфора $\operatorname{tg} \delta_0 = 5 \cdot 10^{-4}$, а при повышении температуры до 100 °С он возрастает в два раза. Чему равен $\operatorname{tg} \delta$ этого материала при температуре 200 °С? Во сколько раз увеличится активная мощность, выделяющаяся в высокочастотном проходном изоляторе из этого материала, при изменении температуры от 20 до 200 °С? Изменением диэлектрической проницаемости керамики пренебречь.
- 2.56. В трубчатом конденсаторе емкостью $C = 90$ пФ, включенном на переменное напряжение $U = 63$ В частотой $f = 1$ МГц, рассеивается мощность $P_a = 10^{-4}$ Вт. Определить реактивную мощность, тангенс угла диэлектрических потерь и добротность конденсатора.
- 2.57. Определить коэффициент потерь неполярного диэлектрика на частоте 10 МГц, если удельное сопротивление материала равно 10^{14} Ом·м.
- 2.58. Свойства, принцип действия и применение фотолитографов.
- 2.59. При тепловом пробое диэлектрик толщиной 5 мм пробивается при напряжении 16 кВ на частоте 50 Гц. При каком напряжении частоты 100 Гц пробьется такой же диэлектрик толщиной 2 мм?
- 2.60. На электроды куба из диэлектрического материала подано переменное напряжение $U = 42$ В частотой $f = 850$ Гц. Требуется: определить тангенс угла диэлектрических потерь для этого материала, удельные потери p , коэффициент диэлектрических потерь ϵ'' .
- 2.61. Активная мощность рассеяния P в кабеле с изоляцией из полистирола при напряжении $U = 10$ В частотой 1 МГц равна 70 мкВт. Чему равна активная мощ-

ность рассеяния в этом же кабеле при напряжении 20 В частотой 2 МГц? Считать, что потери в полистироле обусловлены только сквозной электропроводностью.

- 2.62. Примеры наполнителей для пластмасс, их свойства и влияние на свойства пластмасс.
- 2.63. Влияние добавок на характеристики стекол для применения в изделиях электронной техники.
- 2.64. Где в компонентах электроники могут применяться терморезистивные диэлектрики. Приведите примеры и характеристики таких материалов.
- 2.65. Диэлектрические основания для гибких печатных плат. Ключевые характеристики, марки.
- 2.66. Какие материалы следует рассматривать для изготовления изоляционных материалов кабелей, работающих в условиях термоциклирования?
- 2.67. Чем определяются потери в изоляционных материалах для высоковольтных кабелей? Какие характеристики материалов следует рассматривать для выбора материала.
- 2.68. На шар из диэлектрика с удельным поверхностным сопротивлением $\rho_s = 5.4 \cdot 10^{14}$ Ом и удельным объемным сопротивлением $\rho_M = 2 \cdot 10^{13}$ Ом·м нанесены электроды сверху и снизу. Какой ток пройдет через диэлектрик при подаче напряжения 220 В?
- 2.69. В плоский конденсатор вставили диэлектрическую пластину. С какой силой растягивается пластина полем конденсатора? Площадь обкладок конденсатора S , заряды $\pm Q$. Диэлектрическая проницаемость материала пластины ϵ . Чему равно отрицательное давление внутри пластины, вызываемое электрическим полем конденсатора?
- 2.70. Какие материалы применяются для толсто пленочных диэлектрических слоев в микросхемах? Какие методы нанесения толстых пленок используют?
- 2.71. Усеченный конус с диаметром большего основания 50 мм, диаметром меньшего основания 30 мм, длиной 80 мм из диэлектрика с удельным объемным сопротивлением 10^{12} Ом·м и удельным поверхностным сопротивлением 10^{15} Ом покрыта на основаниях металлическими электродами. Чему равно сопротивление между электродами?
- 2.72. При тепловом пробое диэлектрик толщиной 25 мм пробивается при напряжении 30 кВ на частоте 60 Гц. При каком напряжении частоты 100 Гц пробьется такой же диэлектрик толщиной 10 мм?
- 2.73. Какой материал диэлектрика можно использовать для пленочного конденсатора емкостью 47 нФ, если размеры обкладок 13 мм, расстояние между обкладками 2 мм.
- 2.74. Пенополистирол с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,72$ подвергают равномерному вспениванию воздухом на 70 процентов. Какая диэлектрическая проницаемость получается, если $d = 1050 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$?
- 2.75. Вычислить тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 100 Гц трансформаторного масла, удельное объемное сопротивление которого равно $1,89 \cdot 10^{10}$ Ом·м и диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2,74$.
- 2.76. Тангенс угла диэлектрических потерь неполярного диэлектрика на частоте 50 Гц равен $5,28 \cdot 10^{-4}$. Вычислить активную мощность рассеяния P_a в конденсато-

ре из этого диэлектрика на частоте $f = 1,9$ кГц при напряжении 2 кВ, если емкость конденсатора C равна 4700 пФ.

ТЕМА "ПОЛУПРОВОДНИКИ".

- 3.1. Определить барьерную емкость и ширину р-n-перехода, сформированного в арсениде индия, при температуре $T = 293$ К, если концентрация основных носителей заряда: $p_p = 4.8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; $n_n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, относительная диэлектрическая проницаемость InAs $\epsilon = 14,6$, площадь поперечного сечения р-n-перехода $S = 0,1 \text{ мм}^2$. К р-n-переходу приложено обратное напряжение $|U_{обр}| = 48 \text{ В}$.
- 3.2. Барьерная емкость диода при обратном напряжении 1.7 В равна 180 пФ. Какое требуется напряжение, чтобы при температуре 27 °С уменьшить емкость до 70 пФ, если концентрации донорных и акцепторных примесей соответственно равны $N_D = 1.8 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ и $N_A = 4.43 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$?
- 3.3. Найти ток через переход металл-полупроводник при прямом смещении 4 В, если металл – алюминий, а полупроводник – кремний n-типа с концентрацией доноров $N_D = 10^{21} \text{ м}^{-3}$. Температура равна 30 °С.
- 3.4. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при $T = 293$ К, если ширина его запрещенной зоны $\Delta W = 1,12$ эВ, а эффективные массы плотности состояний для электронов зоны проводимости и для дырок валентной зоны соответственно равны: $m_c = 1,04 \cdot m_0$; $m_v = 0,57 \cdot m_0$, где m_0 – масса свободного электрона.
- 3.5. В собственном германии ширина запрещенной зоны при температуре 23 °С равна 0,665 эВ. На сколько надо повысить температуру, чтобы число электронов в зоне проводимости увеличилось в три раза? Температурным изменением эффективной плотности состояний для электронов и дырок при расчете пренебречь.
- 3.6. Через кристалл кремния n-типа с удельным сопротивлением 0,15 Ом·м пропускают электрический ток плотностью $200 \text{ мА} \cdot \text{см}^{-2}$. За какое время электроны проходят расстояние 12 мкм, если их подвижность $0,138 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$? Как и почему изменится время дрейфа, если электрический ток той же плотности пропускать через кристалл кремния n-типа с более высоким удельным сопротивлением?
- 3.7. Образец арсенида галлия с удельным сопротивлением $4.87 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ характеризуется коэффициентом Холла $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$. Определить: а) напряженность холловского поля, возникающего при пропускании через образец тока плотностью $10 \text{ мА} \cdot \text{мм}^{-2}$ и воздействии магнитного поля с индукцией 2 Тл; б) напряженность внешнего электрического поля для создания заданной плотности тока.
- 3.8. Пленка антимионида индия n-типа размерами $l \times b = 40 \times 15$ мм расположена в плоскости, перпендикулярной магнитному полю Земли. Вычислить, какую разность потенциалов нужно приложить вдоль пленки (по длине l), чтобы на других сторонах получить ЭДС Холла $U_H = 1$ мВ. Индукцию магнитного поля Земли принять равной 45 мкТл, а подвижность электронов $\mu_n = 7,8 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$.
- 3.9. Вычислить дифференциальную термоЭДС для кремния n-типа с концентрацией фосфора $N_D = 5 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ при температуре $T = 300$ К. На сколько изменится значение термоЭДС, если температуру полупроводника повысить до 340 К.

- 3.10. При перепаде температуры $\Delta T = 3 \text{ K}$ по толщине кремниевой пластины n-типа между плоскостями образца возникает термоЭДС $\Delta U_T = 2,5 \text{ мВ}$. Определить концентрацию доноров в материале, если средняя температура образца $T = 450 \text{ K}$.
- 3.11. Какая разность потенциалов возникает между концами образца собственного германия при его неравномерном нагреве, если перепад температуры по образцу $\Delta T = 10 \text{ K}$, а температура более холодного конца равна 500 K ? Ширина запрещенной зоны германия $\Delta W = 0,665 \text{ эВ}$, а эффективные массы плотности состояний $m_c = 0,55 \cdot m_0$, $m_v = 0,388 \cdot m_0$. Отношение подвижностей заряда μ_n / μ_p принять равным двум.
- 3.12. Имеется кремниевый p-n-переход с концентрацией примесей $N_d = 10^3 \cdot N_a$, причем на каждые 10^8 атомов кремния приходится один атом акцепторной примеси. Определить контактную разность потенциалов при температуре $T = 300 \text{ K}$. Концентрацию атомов кремния N и концентрацию n_i принять равными $3,8 \cdot 10^{22}$ и 10^{10} см^{-3} .
- 3.13. Барьерная емкость резкого p-n-перехода равна 330 пФ при обратном напряжении 3 В . Какое требуется обратное напряжение, чтобы она уменьшилась до 50 пФ , если контактная разность потенциалов $\phi_k = 0,82 \text{ В}$?
- 3.14. В равновесном состоянии высота потенциального барьера p-n-перехода равна $0,2 \text{ В}$, концентрация акцепторных примесей $N_a = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ в p-области, что много меньше концентрации донорных примесей N_d в n-области. Найти барьерную емкость p-n-перехода, соответствующую обратным напряжениям $0,1$ и 10 В , если площадь перехода $S = 1 \text{ мм}^2$. Вычислить ширину области объемного заряда p-n-перехода для этих напряжений. Чему она будет равна при прямом напряжении $0,1 \text{ В}$?
- 3.15. Рассчитать удельное сопротивление кристаллов арсенида галлия, легированных хромом до концентрации $2 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ при температуре 300 K , если энергия ионизации атомов хрома $\Delta W_a = 790 \text{ мэВ}$, а подвижность дырок $\mu_p = 0,04 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$. Эффективную массу дырок принять равной $0,48 \cdot m_0$.
- 3.16. Образец кремния содержит в качестве примеси фосфор с концентрацией атомов $2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Какую нужно создать концентрацию атомов галлия в этом полупроводнике, чтобы тип электропроводности изменился на противоположный, а удельное сопротивление стало равным $0,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$? При расчетах полагать, что подвижность дырок $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$. Выразить требуемую концентрацию галлия в массовых долях, если плотность кремния $d = 2,328 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$.
- 3.17. В кристалле сверхчистого германия с периодом идентичности решетки $a = 0,5657 \text{ нм}$ при температуре 300 K один из каждых $2 \cdot 10^9$ атомов ионизирован. Полагая, что подвижность электронов и дырок равна соответственно $0,39$ и $0,19 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$, определить удельное сопротивление материала в данных условиях.
- 3.18. В результате измерений установлено, что кристаллы арсенида галлия, легированные теллуром, при комнатной температуре имеют удельное сопротивление $\rho = 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, подвижность электронов $\mu_n = 0,5 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$ и содержат железо как остаточную примесь в массовой доле $10^{-5} \%$. Вычислить, какое удель-

ное сопротивление имели бы кристаллы при отсутствии примеси железа. Изменением подвижности электронов от содержания примесей пренебречь. Плотность арсенида галлия принять равной $5,32 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$.

- 3.19. Сравнить относительные изменения удельных проводимостей меди и собственного германия при повышении температуры от 20 до 21 °С. Необходимые для расчета данные взять из справочников (см. медиатеку и приложения).
- 3.20. Вычислить собственное удельное сопротивление арсенида галлия при температурах 300 и 500 К, если температурные изменения подвижности электронов и дырок определяются выражениями: $\mu_n = 0,85 \cdot (T/300)^{-2}$; $\mu_p = 0,045 \cdot (T/300)^{-2,5}$.
- 3.21. Материалы для светодиодов типа OLED. Свойства и характеристики.
- 3.22. Как при производстве полупроводниковых материалов избегают появления дислокаций и сдвигов. На какие параметры полупроводников они влияют?
- 3.23. Полупроводниковые материалы для космического применения. Какие характеристики являются ключевыми?
- 3.24. Что такое напряженный кремний (германий)? Применение в современных микросхемах.
- 3.25. Чем можно объяснить, что многие полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^{VI}$ проявляют электропроводность лишь одного типа, независимо от характера легирования?
- 3.26. Сформулируйте основные закономерности, которым подчиняются примеси замещения в полупроводниках типа $A^{II}B^{VI}$. Приведите примеры типичных доноров и акцепторов. Укажите, каким способом можно повысить растворимость этих примесей в кристаллической решетке халькогенидных соединений.
- 3.27. Сульфиды, селениды и теллуриды цинка. Компоненты электронной техники на их основе.
- 3.28. Стеклообразные полупроводники. Применение в компонентах электронной техники.
- 3.29. Селен. Свойства, характеристики и применение в компонентах электронной техники.
- 3.30. Сверхпроводящие полупроводники.
- 3.31. С какой целью производят выращивание эпитаксиальных слоев кремния на монокристаллических подложках при изготовлении интегральных схем? В чем преимущества и недостатки эпитаксиальной технологии?
- 3.32. Провести сравнительный анализ электрофизических свойств собственных кремния и германия. Объяснить, почему для тех или иных компонентов электронной техники применяют именно кремний или германий.
- 3.33. Принципы получения полупроводниковых кристаллов из жидкой фазы
- 3.34. Принципы получения полупроводниковых кристаллов из газообразной фазы
- 3.35. Привести характеристики и примеры использования сверхпроводящих полупроводников.
- 3.36. Почему для формирования областей р-типа в кремниевых планарных приборах в качестве диффундирующей акцепторной примеси в подавляющем большинстве используют бор, хотя алюминий и галлий имеют более высокие коэффициенты диффузии в кремнии?

- 3.37. Почему для изготовления большинства полупроводниковых приборов требуются монокристаллические материалы и не могут быть использованы поликристаллические образцы? Дать подробный ответ.
- 3.38. Получение монокристаллов кремния. Последовательность операций и оборудование.
- 3.39. Получение монокристаллов германия. Последовательность операций и оборудование.
- 3.40. Полупроводниковые соединения $A^{IV}B^{VI}$. Халькогениды свинца. Применение в компонентах электронной техники.
- 3.41. Поликремний. Свойства и характеристики, применение в компонентах электронной техники.
- 3.42. Поведение полупроводников при сверхнизкой температуре. Влияние легирования на температуру перехода в сверхпроводящее состояние.
- 3.43. Органические полупроводники. Применение в компонентах электронной техники.
- 3.44. Оксидные полупроводники, применение в компонентах электронной техники.
- 3.45. Объясните, почему при одинаковом содержании легирующих примесей поликристаллический кремний обладает гораздо более высоким удельным сопротивлением, чем монокристаллический материал.
- 3.46. Назовите примеси в кремний, легирование которыми обеспечивает сравнительно большое время жизни неравновесных носителей заряда в нем. Приведите примеры практического использования таких материалов в полупроводниковых приборах.
- 3.47. Назовите примеси в германии, легирование которыми обеспечивает малое время жизни неравновесных носителей заряда в нем. Приведите примеры практического использования таких материалов в полупроводниковых приборах.
- 3.48. Назовите основные операции технологического цикла получения кремния полупроводниковой чистоты. Что служит исходным сырьем при получении полупроводниковых кристаллов кремния и германия?
- 3.49. Материалы для светоизлучающих полупроводниковых структур. Характеристики. Принцип действия, область применения.
- 3.50. Материалы для полупроводниковых светодиодов и лазеров
- 3.51. Материалы для полупроводниковых компонентов, воспринимающих внешнее световое воздействие. Свойства и характеристики, применение в компонентах электронной техники.
- 3.52. Материалы для полупроводниковых компонентов, воспринимающих внешнее механическое воздействие. Свойства и характеристики, применение в компонентах электронной техники.
- 3.53. Материалы для полупроводниковых компонентов на основе свето- и теплопоглощения
- 3.54. Материалы для полупроводниковых компонентов высоких частот. Характеристики. Принцип действия, область применения.
- 3.55. Легирование полупроводниковых материалов в процессе выращивания кристаллов из жидкой фазы и из газовой фазы. Общие принципы введения примесей через расплав.
- 3.56. Кристаллизационные методы очистки полупроводниковых материалов

- 3.57. Карбид кремния. Применение в компонентах электронной техники.
- 3.58. Какой тип химической связи характерен для полупроводниковых соединений типа $A^{III}B^V$? Каковы закономерности изменения электрофизических свойств этих полупроводников.
- 3.59. Каким типом электропроводности обладают полупроводники типа $A^{III}B^V$, легированные атомами элементов IV группы Периодической таблицы элементов?
- 3.60. Каким образом производится кристаллизационная очистка кремния и германия? Какой метод получил наиболее широкое распространение для выращивания крупных монокристаллов этих полупроводников?
- 3.61. Жидкие, стеклообразные и аморфные полупроводники
- 3.62. Влияние сильных магнитных полей и ионизирующих излучений на полупроводники. Способы защиты.
- 3.63. Арсениды галлия, индия. Характеристики, применение в компонентах электронной техники.
- 3.64. Антимониды. Характеристики, применение в компонентах электронной техники.
- 3.65. Ток, текущий через идеальный p-n-переход при большом обратном напряжении и температуре 60°C , равен $0,4\text{ мкА}$. Найти ток при прямом смещении $0,2\text{ В}$ и комнатной температуре.
- 3.66. Определить, как изменится концентрация электронов в арсениде галлия, легированном цинком до концентрации $N_{Zn}=10^{22}\text{ м}^{-3}$, при повышении температуры от 27 до 300 градусов Цельсия. Полагать, что при 27 градусах Цельсия все атомы цинка полностью ионизированы.
- 3.67. Определить, при какой концентрации примесей удельная проводимость германия при температуре 300 К имеет наименьшее значение. Найти отношение собственной удельной проводимости к минимальной при той же температуре. Принять собственную концентрацию носителей заряда при комнатной температуре $n_i=2,1\cdot 10^{19}\text{ м}^{-3}$, подвижность электронов $\mu_n=0,39\text{ м}^2\cdot(\text{В}\cdot\text{с})^{-1}$, подвижность дырок $\mu_p=0,19\text{ м}^2\cdot(\text{В}\cdot\text{с})^{-1}$.
- 3.68. Определить ток через образец кремния прямоугольной формы размерами $l\times b\times h=5\times 2\times 1\text{ мм}$, если вдоль образца приложено напряжение 10 В . Известно, что концентрация электронов в полупроводнике $n=10^{21}\text{ м}^{-3}$, их подвижность $\mu_n=0,14\text{ м}^2\cdot(\text{В}\cdot\text{с})^{-1}$.
- 3.69. В каких компонентах электронной техники могут применять полупроводники с высокой способностью испускать носители заряда при воздействии падающего света? Приведите характеристики таких материалов.
- 3.70. Как обеспечивают равномерное распределение примесей в полупроводниках при диффузии и ионном легировании? Какие примеси в кремний лучше всего подходят для создания высокой примесной концентрации? Какие характеристики при этом являются важными?
- 3.71. Через кристалл германия p-типа с удельным сопротивлением $0,23\text{ Ом}\cdot\text{м}$ пропускают электрический ток плотностью $110\text{ мА}\cdot\text{см}^{-2}$. За какое время электроны проходят расстояние 12 мкм , если их подвижность $0,389\text{ м}^2\cdot(\text{В}\cdot\text{с})^{-1}$? Как и почему изменится время дрейфа, если электрический ток той же плотности пропускать через кристалл германия с более высоким удельным сопротивлением?

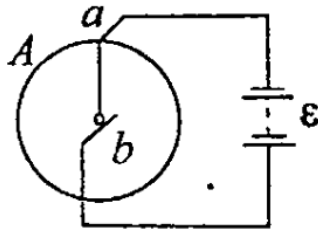
- 3.72. Образец арсенида индия с удельным сопротивлением $2.87 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ характеризуется коэффициентом Холла $1.6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$. Определить: а) напряженность холловского поля, возникающего при пропускании через образец тока плотностью $15 \text{ мА} \cdot \text{мм}^{-2}$ и воздействии магнитного поля с индукцией 2 Тл; б) напряженность внешнего электрического поля для создания заданной плотности тока.
- 3.73. Пленка антимионида индия n-типа размерами $l \times b = 50 \times 10$ мм расположена в плоскости, перпендикулярной магнитному полю Земли. Вычислить, какую разность потенциалов нужно приложить вдоль пленки (по длине l), чтобы на других сторонах получить ЭДС Холла $U_H = 2$ мВ. Индукцию магнитного поля Земли принять равной 48 мкТл, а подвижность электронов $\mu_n = 7,68 \text{ м}^2 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}$.
- 3.74. Найти ток через переход металл-полупроводник при прямом смещении 3 В, если металл – медь, а полупроводник – кремний p-типа с концентрацией акцепторов $N_a = 10^{23} \text{ м}^{-3}$. Температура равна 20 °С.
- 3.75. Двухкомпонентные полупроводники: фосфиды, арсениды и антимиониды цинка и кадмия. Применение в материалах электронной техники.
- 3.76. Оксидные полупроводники. Диоксид титана. Применение в материалах электронной техники.

ТЕМА "МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ".

- 4.1. Технически чистое железо. Кремнистая электротехническая сталь. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.2. Ферриты для устройств СВЧ. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.3. Альсиферы. Марки, характеристики, применение в компонентах электронной техники.
- 4.4. Антиферромагнетики. Характеристики, получение, использование в компонентах электронной техники.
- 4.5. Изменение магнитных свойств диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферромагнетиков в зависимости от температуры.
- 4.6. Как изменяется магнитная восприимчивость парамагнетиков с повышением температуры? Может ли быть достигнуто магнитное насыщение парамагнитных веществ?
- 4.7. Какова природа потерь в катушках индуктивности? Какие методы могут их уменьшить?
- 4.8. Классификация веществ по магнитным свойствам. К какому классу веществ по магнитным свойствам относятся полупроводники кремний и германий, химические соединения типа $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$?
- 4.9. Магнитные свойства железа, низкоуглеродистые стали. Карбонильное железо. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.10. Магнитные свойства полупроводников. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.11. Магнитные свойства сверхпроводников. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.12. Магнитострикционные материалы. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.13. Магниты из порошков. Свойства, технология получения и применение.

- 4.14. Металлические и неметаллические материалы для магнитной записи информации.
- 4.15. Металлокерамические и металлопластические магниты.
- 4.16. Методы измерения электромагнитных параметров магнитных материалов.
- 4.17. Механизм технического намагничивания и магнитный гистерезис. Магнитная проницаемость. Магнитные потери.
- 4.18. Объясните, как и почему изменяется индукция насыщения ферромагнетиков при повышении температуры.
- 4.19. Объясните, почему высоконикелевый пермаллой, имеющий примерно в два раза меньшую, чем железо и электротехническая сталь, индукцию насыщения, обладает вместе с тем существенно более высокой начальной магнитной проницаемостью.
- 4.20. Почему диамагнетики намагничиваются противоположно направлению вектора напряженности внешнего магнитного поля? Как влияет температура на диамагнитную восприимчивость?
- 4.21. Природа магнетизма. Общее сравнение диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферри-магнетиков.
- 4.22. Что понимают под константой магнитострикции? Какой физический смысл имеет знак константы магнитострикции? Чем отличается магнитострикция в монокристаллических и поликристаллических ферромагнетиках? Приведите примеры практического использования явления магнитострикции.
- 4.23. Что такое магнитная анизотропия. Какое применение находят материалы с магнитной анизотропией?
- 4.24. Какие материалы следует исследовать для применения в качестве электромагнита с максимальной потерей магнитных свойств при снятии напряжения? Характеристики, свойства.
- 4.25. Ферриты и металлические сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.26. Длина железного сердечника тороида 2,8 м. Длина воздушного зазора – 1,5 мм. Число витков в обмотке тороида – 2010. При токе 15 А индукция магнитного поля в воздушном зазоре 1,5 Тл. Найти магнитную проницаемость железного сердечника при этих условиях.
- 4.27. Цилиндрическая катушка с ферритовым сердечником диаметром 42 мм имеет индуктивность 1,45 Гн и содержит 3000 витков. Определить ток в катушке, при котором магнитная индукция в сердечнике равна 6 Тл.
- 4.28. Суммарные магнитные потери на гистерезис и вихревые токи в сердечнике трансформатора при частоте 1 кГц равны и составляют 4 Вт/кг. На какой частоте потери составят 1 Вт/кг, если максимальная магнитная индукция увеличилась в два раза по сравнению с частотой 1 кГц.
- 4.29. Магнитная катушка с длиной каркаса 0,15 метра имеет индукцию в сердечнике 10 Тл. Определить ток в катушке, если 200 метров медного провода намотано виток к витку в 4 слоя, а магнитная проницаемость сердечника равна $\mu = 545$.
- 4.30. Определить, сколько витков в два слоя необходимо намотать на магнитный сердечник длиной 170 мм и диаметром 15 мм, чтобы получить индуктивность катушки $L=120$ мГн. Магнитную проницаемость сердечника считать равной 750.

- 4.31. На ферритовый сердечник, изготовленный в виде тора со средним диаметром 65 мм и радиусом поперечного сечения 6,5 мм, намотана обмотка, содержащая 1070 витков. При пропускании по обмотке тока $I = 0,7$ А в сердечнике создается магнитный поток $8,95 \cdot 10^{-2}$ Вб. Найти магнитную проницаемость феррита.
- 4.32. Внутри соленоида длиной $l=20$ см и диаметром $D=5,5$ см помещен железный сердечник. Соленоид имеет 350 витков. Построить для соленоида с сердечником график зависимости магнитного потока Φ от тока I в интервале от 0 А до 5 А через каждый 1А. По оси ординат откладывать Φ в 10^{-4} Вб.
- 4.33. Замкнутый железный сердечник длиной $l=70$ см имеет обмотку из $N=2000$ витков. По обмотке течет ток $I=3$ А. Какой ток надо пропустить через обмотку, чтобы при удалении сердечника индукция осталась прежней?
- 4.34. В сердечнике трансформатора суммарные удельные магнитные потери на гистерезис и вихревые токи при частоте 1,5 кГц равны и составляют 3,98 Вт/кг. Определить суммарные удельные потери в сердечнике при частоте 700 Гц, если максимальная магнитная индукция в нем та же, что и при частоте 1,5 кГц.
- 4.35. При напряженности магнитного поля $H = 800$ кА/м магнитно твердый сплав ЮНДК35Т5 имеет магнитную индукцию $B=1.02$ Тл. Определить намагниченность сплава.
- 4.36. Найти индуктивность соленоида, в котором обмотка из 700 витков намотана на диэлектрическое основание длиной 60 мм. Площадь поперечного сечения основания 50мм^2 . Как изменится индуктивность катушки, если в нее ввести цилиндрический ферритовый сердечник, имеющий магнитную проницаемость $\mu = 490$?
- 4.37. Катушка с ферритовым тороидальным сердечником диаметром 10 мм имеет индуктивность 0,089 Гн и содержит 1050 витков. Определить ток в катушке, при котором магнитная индукция в сердечнике равна 0,51 Тл.
- 4.38. Тороидальный сердечник из пермаллоя с внутренним диаметром 30 мм и наружным диаметром 50 мм имеет обмотку из 750 витков. При пропускании через обмотку тока 0,35 А в сердечнике создается магнитное поле индукцией 0,75 Тл. Определить магнитную проницаемость сердечника.
- 4.39. Алюминиевый провод площадью поперечного сечения $S=5$ мм² подвешен в горизонтальной плоскости к магнитному меридиану и по нему течет ток (с запада на восток) 1,5 А. Какую долю от силы тяжести, действующей на провод, составляет сила, действующая на него со стороны земного магнитного поля? Насколько уменьшится сила тяжести, действующая на единицу длины провода, вследствие этой силы. Горизонтальная составляющая напряженности земного электромагнитного поля $H=15$ А/м.
- 4.40. Суммарные магнитные потери на гистерезис и вихревые токи в сердечнике трансформатора при частоте 2 кГц равны и составляют 3 Вт/кг. На какой частоте потери составят 2 Вт/кг, если максимальная магнитная индукция уменьшилась в полтора раза по сравнению с частотой 2 кГц.
- 4.41. Однородный медный диск толщиной 2 см и радиусом 60 см помещен в магнитное поле с индукцией 25 мТл так, что плоскость диска перпендикулярна к направлению магнитного поля (см. рисунок). При замыкании цепи диск начинает вращаться и через время 45 сек после начала вращения достигает частоты вращения 10Гц. Найти ток в цепи.



- 4.42. Диамагнитная восприимчивость меди $k = -9,5 \cdot 10^{-6}$. Определите намагниченность и магнитную индукцию в медном проводе при воздействии на него однородного магнитного поля напряженностью $1000 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$. Укажите, как ориентированы векторы намагниченности и магнитной индукции относительно друг друга.
- 4.43. При насыщении магнитная индукция чистого железа $B = 2,2 \text{ Тл}$. Учитывая, что элементарная ячейка кристаллической решетки железа представляет собой объемно-центрированный куб с ребром $a = 0,286 \text{ нм}$, рассчитать магнитный момент, приходящийся на один атом железа (в магнетонах Бора)
- 4.44. Магнитная индукция насыщения металлического никеля, имеющего плотность $8960 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-3}$, равна $0,65 \text{ Тл}$. Определить магнитный момент, приходящийся на один атом никеля (в магнетонах Бора).
- 4.45. В однородное магнитное поле индукцией B_0 перпендикулярно магнитному потоку помещена плоскопараллельная пластина из однородного изотропного ферромагнетика с магнитной проницаемостью μ . Определить магнитную индукцию B_1 и напряженность магнитного поля H_1 внутри ферромагнетика.
- 4.46. При напряженности магнитного поля $H = 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$ магнитная индукция в висмуте $B = 12,564 \text{ мТл}$. Определить магнитную восприимчивость k вещества. Какой вывод можно сделать о природе намагниченности?
- 4.47. В сердечнике трансформатора удельные магнитные потери на гистерезис и на вихревые токи при частоте 2 кГц равны и составляют $2 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$. Определить суммарные удельные магнитные потери в сердечнике при частоте 400 Гц , если максимальная магнитная индукция на нем та же, что и на частоте 2 кГц .
- 4.48. На частоте 50 Гц удельные потери на вихревые токи в сердечнике из электротехнической стали при индукции магнитного поля B , равной $1,2 \text{ Тл}$, составляют $6,5 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$. Определить потери на вихревые токи в сердечнике на частоте 400 Гц при магнитной индукции $0,5 \text{ Тл}$, если масса сердечника $m = 0,5 \text{ кг}$.
- 4.49. Определить магнитные потери в сердечнике $40 \times 20 \times 7,5$ из феррита марки 2000 НМ на частоте $0,1 \text{ МГц}$ при пропускании через намагничивающую обмотку тока 40 мА . Обмотка состоит из 100 витков, добротность сердечника в данных условиях равна 10 . Магнитную проницаемость сердечника при рабочей напряженности поля считать равной μ_H .
- 4.50. Найти удельные магнитные потери в ферритовом сердечнике марки 2000 НН, перемагничиваемом на частоте $0,1 \text{ МГц}$ магнитным полем напряженностью $H_m = 4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$, если в данных условиях $\text{tg } \delta_m = 0,2$, магнитная проницаемость $\mu = 2500$.
- 4.51. Кольцевой ферритовый сердечник массой $m = 0,1 \text{ кг}$ перемагничивается переменным магнитным полем напряженностью $H_m = 1 \text{ кА} \cdot \text{м}^{-1}$ частотой $f = 104 \text{ Гц}$. Определить энергию, запасаемую в сердечнике, если магнитная

проницаемость материала $\mu=1000$; $\operatorname{tg} \delta_m=2 \cdot 10^{-2}$; плотность феррита $d=4,5 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$.

- 4.52. Кольцевой магнитопровод имеет площадь поперечного сечения $S=100 \text{ мм}^2$ и среднюю длину магнитного контура $l_{cp}=0,1 \text{ м}$. На сердечник намотана обмотка с числом витков $n=100$. Определить магнитный поток через сердечник при токе в обмотке $I=1 \text{ А}$, если магнитная проницаемость материала сердечника $\mu=2000$.
- 4.53. Определить индуктивность катушки с кольцевым магнитным сердечником размерами $R \times r \times h=30 \times 20 \times 10$ мм и обмоткой, состоящей из 200 витков. Сердечник изготовлен из высоконикелевого пермаллоя с относительной магнитной проницаемостью $\mu=50000$ (при рабочей напряженности магнитного поля).
- 4.54. Катушка с ферритовым тороидальным сердечником диаметром 10 мм имеет индуктивность 0,12 Гн и содержит 1000 витков. Определить ток в катушке, при котором магнитная индукция в сердечнике равна 0,1 Тл.
- 4.55. Определить магнитную индукцию ферромагнитного сердечника, помещенного внутрь соленоида длиной $l=20$ см с числом витков $n=800$, если по обмотке проходит ток 0,2 А, а эффективная магнитная проницаемость сердечника $\mu=200$.
- 4.56. Имеется железное кольцо прямоугольного сечения размером 7 на 4 см. Кольцо несет на себе обмотку из $N=1200$ витков. По обмотке течет ток $I=3$ А. В кольце имеется поперечная прорезь ширины $b=2$ мм. Пренебрегая рассеянием поля на краях прорези, найти: а) магнитную проницаемость μ железа при этих условиях, б) поток магнитной индукции Φ через поперечное сечение кольца, в) энергию W_1 , заключенную в железе, энергию W_2 в воздушном зазоре и полную энергию поля W .
- 4.57. Как проводятся измерения намагниченности материала? Какое оборудование для такого измерения необходимо?
- 4.58. Что такое комплексная магнитная проницаемость вещества? Почему нельзя обойтись только вещественной частью? Как магнитную проницаемость измеряют?
- 4.59. Что такое аморфные магнитные материалы? Примеры, характеристики, области применения.
- 4.60. Как изменяются оптические свойства магнитных материалов? Где это применяется?
- 4.61. Магнитные свойства материалов в переменных магнитных полях низких и высоких частот.
- 4.62. В каких материалах возможны обратимые намагничивания и перемагничивания? Где это можно применить?
- 4.63. Почему на частотах 50 Гц чаще применяют электротехническую сталь, а не железо или железокобальтовые сплавы? Как электротехническую сталь получают?
- 4.64. Магнитотвердые материалы с повышенными значениями коэрцитивной силы и магнитной энергии. Свойства, характеристики, сферы применения.

- 4.65. Магнитные материалы для записи информации. Какие материалы более долго хранят записанную информацию? Свойства, характеристики, сферы применения.
- 4.66. Магниты для устройств СВЧ. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.67. Порошковые магниты. Свойства, характеристики, сферы применения.
- 4.68. Длина железного сердечника $l_1=50$ см, длина воздушного зазора $l_2=4$ мм. Число ампер-витков в обмотке тороида 3000 А·витков. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в воздушном зазоре, если при том же числе ампер-витков увеличить длину воздушного зазора вдвое.
- 4.69. Магнитные полупроводники. Применение в компонентах электронной техники.
- 4.70. Какие магнитные материалы применяют для создания микрофонов и громкоговорителей? Примеры и характеристики.
- 4.71. Какие существуют механизмы размагничивания? Каким образом связаны размагничивание и коэрцитивная сила?
- 4.72. Магнитные свойства редкоземельных металлов? Использование в компонентах электронной техники.
- 4.73. Что такое спиновые стекла? Где их можно использовать?
- 4.74. Что такое гигантское магнитное сопротивление? Использование в компонентах электронной техники.
- 4.75. При напряженности магнитного поля $H=4 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$ магнитная индукция в висмуте $B=11,3 \text{ мТл}$. Определить магнитную восприимчивость k вещества. Какой вывод можно сделать о природе намагниченности?
- 4.76. Прямоугольная катушка с ферритовым сердечником со стороной 5 см имеет индуктивность 0,88 Гн и содержит 6000 витков. Определить ток в катушке, при котором магнитная индукция в сердечнике равна 3 Тл.

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования "Полоцкий государственный университет"

Кафедра конструирования и технологии
радиоэлектронных средств

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине "Материалы и компоненты электроники"

вариант № __

Выполнил _____ Иванов И.И.
подпись

студент гр. 11-ПЭЛз

номер зачетной книжки _____

домашний адрес _____

e-mail _____

Сдана на проверку _____ (не заполнять)

На доработку _____ (не заполнять)

На доработку _____ (не заполнять)

К защите _____

Зачтена _____

Проверил _____ Грозберг Ю.Г.
зав.кафедрой КиТ РЭС