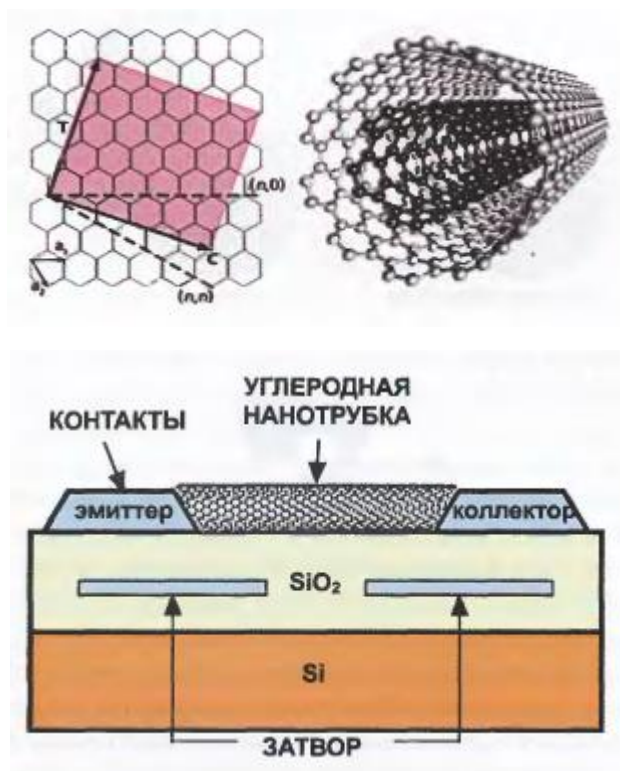


А.С. Бадаев

РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие



Воронеж 2017

Министерство образования и науки Российской
Федерации

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

А.С. Бадаев

РАДИОМАТЕРИАЛЫ И
РАДИОКОМПОНЕНТЫ
ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Утверждено учебно – методическим советом университета в
качестве учебного пособия

Воронеж 2017

УДК 621.396.66
ББК 32.843
Б15

Бадаев А.С. Радиоматериалы и радиокомпоненты. Фонд оценочных средств: учеб. пособие / А.С. Бадаев. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. 196 с.

В учебном пособии представлены структура и содержание дисциплины, контрольные вопросы, задачи, тестовые задания, билеты для экзаменов и зачётов, методические рекомендации и литература, необходимые для их выполнения, оценки знаний и формирования компетенций.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и направлению «Радиотехника», дисциплине «Радиоматериалы и радиокомпоненты».

Ил. 11. Библиогр.: 8 назв.

Рецензенты: кафедра физики полупроводников и микроэлектроники Воронежского государственного университета (зав. кафедрой д-р физ.-мат наук, проф. Е.Н. Бормонтов);
д-р техн. наук, доц. А.В. Останков

© Бадаев А.С., 2017
© Оформление. ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
технический университет», 2017

ВВЕДЕНИЕ

Все материалы, применяемые при производстве радиоэлектронных средств, подразделяют на конструкционные и радиоматериалы.

Конструкционные материалы – это материалы, применяемые для изготовления элементов несущих конструкций, деталей передающих механизмов, корпусов.

Радиоматериалы – это материалы, применяемые для изготовления элементной базы радиоэлектронных средств (индуктивных элементов, конденсаторов, резистивных элементов, полупроводниковых приборов, электронных ламп, антенн, волноводов, устройств функциональной электроники и т. п.). Радиоматериалы характеризуются определенными свойствами по отношению к магнитным и электрическим полям и их применяют с учетом этих свойств. Радиоматериалы определяют работу электрической схемы радиоэлектронного устройства.

В зависимости от электрических и магнитных свойств, радиоматериалы подразделяют на следующие классы: диэлектрические материалы, проводники, полупроводники и магнитные материалы.

В последние годы усилено продолжают работы по поиску, разработке и синтезу новых перспективных материалов с уникальными свойствами, близкими к идеальным, настоящий прорыв в этом направлении связан с появлением и развитием нанотехнологий.

Нанотехнологии – совокупность методов изготовления и обработки изделий, имеющих протяженность $1 - 100$ нм ($1\text{ мм} = 10^{-9}\text{ м} = 10^{-3}\text{ мкм} = 10\text{ \AA}$, атом имеет размер порядка 0.1 нм). Нанотехнологии в электронике – наноэлектроника – одно из наиболее значимых для развития цивилизации научно-технологических направлений. Оно коренным образом изменит все важнейшие характеристики электронной аппаратуры, значительно ускорит создание эффективных систем управления, станет инструментальной базой реализации проектов

искусственного интеллекта и позволит создавать «разумных» роботов микро- и наноразмеров.

Для успешного освоения курса «Радиоматериалы и радиокомпоненты» необходимы систематическая работа, контроль и самоконтроль знаний в течение всего учебного процесса.

Несомненную необходимую помощь в этой работе окажет Фонд оценочных средств (ФОС). В нем представлены варианты тестовых вопросов и заданий, все виды контрольных вопросов, задачи, темы курсовых работ, экзаменационные билеты, своевременная проработка и изучение которых будут способствовать более глубокому усвоению материала дисциплины, а также успешной подготовке к курсовому и дипломному проектированию.

Учебное пособие может быть использовано для всех форм контроля знаний: текущего, промежуточного, итогового, дистанционного, контроля остаточных знаний и выполнения контрольных и курсовых работ.

Вопросы и задания, содержащиеся в учебном пособии, опираются на изучаемый лекционный материал и литературу /1-8/, которая находится в библиографическом списке в конце пособия. Они имеют сплошную нумерацию и расположены в соответствии с последовательностью разделов курса «Радиоматериалы и радиокомпоненты».

Необходимо стараться отвечать на вопросы самостоятельно, обращаясь к конспекту лекций и рекомендованной литературе.

Пособие может быть полезно как преподавателям и проверяющим экспертам, так и студентам.

1. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

ОПК-6	Готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности
Знает: — современные проблемы материаловедения микро – и нано-электроники; — современную элементную базу аналоговых и цифровых электронных устройств; Умеет: — применять физические законы микро- и наноэлектроники для решения практических задач; — использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач; — использовать основные приемы обработки экспериментальных данных; Владеет: — моделированием активных приборов, используемых в радиотехнике; — методами, необходимыми для выбора элементной базы и конструкторских решений; — навыками выполнения экспериментов и оценивания их результатов.	

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

	Знать:
1	фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики и атомной физики;
2	теоретические основы строения вещества, зависимость химических свойств веществ от их строения;
3	основные закономерности протекания химических и физико-химических процессов;
4	функциональные свойства материалов и их основные параметры, принцип действия радиокомпонентов, их типы и основные конструктивные и эксплуатационные характеристики, области применения;
5	основные типы активных приборов, их модели и способы их количественного описания при использовании в радиотехнических цепях и устройствах;
6	современную элементную базу аналоговых и цифровых электронных устройств;
	Уметь:
1	применять физические законы для решения задач теоретического, экспериментального и прикладного характера;
2	применять химические законы для решения практических задач;
3	определить оптимальный состав радиокомпонентов в зависимости от конструкции и назначения РЭС, а также провести расчет их основных характеристик;
4	использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач;
5	использовать основные приемы обработки экспериментальных данных;

	Владеть:
1	навыками выполнения физических экспериментов и оценки их результатов;
2	навыками проведения простейших химических экспериментов;
3	навыками пользования справочными материалами при выборе радиокомпонентов и конструкционных материалов РЭС;
4	моделированием активных приборов, используемых в радиотехнике;
5	методами, необходимыми для выбора элементной базы и конструкторских решений.

Структура и содержание дисциплины

№ п./п	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Введение	7	1	2			2	4
2	Элементы квантовой и статистической физики	7	2	4	2		3	9

3	Строение и структура материалов радиоэлектроники	7	3-4	6	2	4	4	16
4	Общие физические свойства радиоматериалов	7	5-7	8	2	8	6	24
5	Электропроводимость твёрдых тел	7	8-9	6	2	12	4	24
6	Физические эффекты и явления в полупроводниках	7	10-12	8	2	4	4	18
7	Диэлектрические свойства твёрдых тел	7	12-13	4	2	4	3	13
8	Магнитные свойства радиоматериалов	7	14-15	6	2	4	4	16
9	Переход от микроэлектроники к наноэлектронике	7	16-18	8	2		4	14

10	Перспективные направления развития электронного материаловедения	7	18	2	2		2	6
11	Введение	8	23	2			2	4
12	Проводниковые материалы	8	24-28	10	4	10	13	37
13	Полупроводниковые материалы	8	29-34	12	6	14	17	49
14	Диэлектрики	8	35-37	6	4	8	11	29
15	Магнитные материалы	8	38-40	6	4	4	11	25
16	Резисторы	9	1	2			1	3
17	Конденсаторы	9	2	2			1	3
18	Катушки индуктивности. Трансформаторы	9	3	2			1	3
19	Элементы коммутации	9	4	2			1	3
20	Полупроводниковые диоды	9	5-6	4		6	2	12

21	Биполярные транзисторы	9	7-8	4			2	6
22	Полевые транзисторы	9	9-10	4		4	2	10
23	Интегральные микросхемы (ИМС)	9	11-15	10		4	2	16
24	Оптоэлектронные радиокомпоненты	9	16	2			2	4
25	Компоненты наноэлектроники	9	17	2		4	2	8
26	Компоненты функциональной электроники	9	18	2			2	4
Итого				126	36	90	108	360

2. ПАСПОРТ ФОС

Вид контроля	Разделы дисциплины	Объект контроля	Форма контроля	Методы контроля	Срок выполнения
7 семестр					
Текущий	1-4	Введение. Элементы квантовой и статистической физики. Строение и структура материалов радиоэлектроники. Общие физические свойства радиоматериалов	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	6 неделя
Текущий	5-6	Электропроводимость твёрдых тел. Физические эффекты и явления в полупроводниках	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	12 неделя
Промежуточная аттестация	1-10	Все предыдущие объекты контроля. Диэлектрические свойства твёрдых тел Магнитные свойства радиоматериалов.	Зачёт	Письменный, устный	20 неделя

		Переход от микроэлектроники к нанoeлектронике			
Контроль остаточных знаний	1-10	Все объекты контроля	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	
8 семестр					
Текущий	11-12	Введение. Проводниковые материалы	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	28 неделя
Текущий	13	Полупроводниковые материалы	Тестирование. Контрольная работа.	Письменный	34 неделя
Промежуточная аттестация	11-15	Все предыдущие объекты контроля. Диэлектрики. Магнитные материалы	Зачёт. Защита курсовой работы	Письменный, устный	42 неделя
Контроль остаточных знаний	11-15	Все объекты контроля	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	
9 семестр					
Текущий	16-20	Резисторы. Конденсаторы. Катушки индуктивности. Трансформаторы. Элементы коммутации.	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	6 неделя

		Полупроводниковые диоды.			
Текущий	21-23	Биполярные транзисторы. Полевые транзисторы. Интегральные микросхемы (ИМС).	Тестирование. Контрольная работа	Письменный	14 неделя
Промежуточная аттестация	16-26	Все предыдущие объекты контроля. Оптоэлектронные радиокомпоненты. Компоненты наноэлектроники. Компоненты функциональной электроники	Экзамен	Письменный, устный	18 неделя
Контроль остаточных знаний		Все объекты контроля	Тестирование. Контрольная работа	Письменный, устный	

3. ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

Начальный этап формирования компетенций происходит в конце 7 семестра, их контроль — при проведении текущей аттестации на 20 неделе семестра. Промежуточный этап осуществляется на 42 неделе 8 семестра после проведения экзамена. Окончательный этап формирования и контроля компетенций проводится после промежуточной аттестации на 18 неделе 9 семестра.

Показателями и критериями оценки уровня формирования компетенций являются наличие и качество знаний, умений, навыков и др., оцениваемых при проведении различного рода контрольных мероприятий: контрольных работ, тестирования, отчётов по лабораторным и курсовым работам, экзамена.

ФОС по дисциплине включает в себя контрольные мероприятия по оценке освоения студентами ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, и НАВЫКОВ, которые формируют компетенции, отнесенные к данной дисциплине.

ЗНАНИЕ формируется в процессе теоретического обучения во время лекций (активный и интерактивный режимы) и самостоятельной работы студента.

Оценочными средствами ЗНАНИЙ являются:

— при самостоятельной работе студента:

— комплект вопросов для самопроверки; в конспектах лекций вопросы для самопроверки даются после каждой лекции, в учебных пособиях в конце раздела;

— при текущем контроле, проводимом на 5-6 и 11-12 неделях семестра (конкретный срок определяется завершением изложения раздела программы дисциплины):

— тестовые задания теоретического характера по материалу раздела (разделов) программы;

- контрольные работы теоретического характера по материалу раздела (разделов) программы;

- при промежуточном контроле, проводимом при завершении дисциплины:

- вопросы экзаменационного билета;

- тестовые задания по дисциплине в целом осуществляются для экспресс-проверки ЗНАНИЙ сторонним экспертом.

УМЕНИЕ формируется в процессе выполнения практических занятий и самостоятельной работы студента.

Оценочными средствами УМЕНИЙ являются:

- при самостоятельной работе студента:

- комплект задач для самопроверки; в конспектах лекций и учебных пособиях задачи для самостоятельного решения даются в конце раздела;

- при текущем контроле, проводимом на 5-6 и 11-12 неделях семестра:

- тестовые задания на решение задач по материалу раздела (разделов) программы;

- контрольные работы по решению задач по материалу раздела (разделов) программы;

- при промежуточном контроле, проводимом при завершении дисциплины:

- один вопрос экзаменационного билета;

- тестовые задания по дисциплине в целом для экспресс-проверки УМЕНИЙ сторонним экспертом.

НАВЫКИ (ВЛАДЕНИЯ) формируются в процессе выполнения лабораторных работ.

Оценочными средствами НАВЫКОВ являются:

- контрольные вопросы для допуска к выполнению лабораторных работ (даются в методических указаниях к выполнению лабораторных работ);

— контрольные вопросы для сдачи лабораторных работ (даются в методических указаниях к выполнению лабораторных работ).

При текущем контроле тестовые задания или контрольные работы включают вопросы, позволяющие оценить ЗНАНИЕ, УМЕНИЕ и НАВЫКИ. Оптимальным представляется задание из 10 вопросов, из которых 5 вопросов позволяют оценить ЗНАНИЕ (правильный ответ — 1 балл), 3 — УМЕНИЕ (правильный ответ — 2 балла) и 2 — ВЛАДЕНИЕ (правильный ответ — 3 балла). Оценка «отлично» выставляется за 14-17 баллов, оценка «хорошо» — за 11-13 баллов, оценка «удовлетворительно» — 9-12 баллов, оценка «неудовлетворительно» менее 9 баллов.

При промежуточном контроле, проводимом при завершении дисциплины:

— экзаменационный билет включает 3-4 вопроса, из которых 1-2 вопроса позволяют оценить ЗНАНИЕ, 1 вопрос — УМЕНИЕ и 1 вопрос — НАВЫКИ; при проведении экзамена преподаватель формирует экзаменационные билеты из фонда экзаменационных вопросов, из разных разделов дисциплины, определяя самостоятельно число вопросов в билете. Оценка «неудовлетворительно» выставляется при незнании хотя бы одного вопроса билета; «удовлетворительно» — при неполном с приемлемыми ошибками ответом на все вопросы; «хорошо» — при безошибочных, уверенных ответах на все вопросы; «отлично» — предполагает правильные ответы на дополнительные вопросы по всему курсу.

Требования к зачёту с оценкой те же, что и для экзамена.

Положительная оценка при защите курсовой работы предполагает помимо правильности выполнения, дополнительную беседу по теме работы. Несоответствие темы назначенной преподавателем, грубые и принципиальные ошибки при выполнении курсовой работы оцениваются — «неудовлетворительно».

— тестовые задания по дисциплине в целом для комплексного экспресс — контроля сторонним экспертом

формируются и оцениваются аналогично тестовому заданию текущего контроля и контролю остаточных знаний.

Итоговый контроль

Итоговый контроль осуществляется по результатам государственного экзамена и защиты выпускной квалификационной работы в виде дипломной работы или дипломного проекта.

Государственный экзамен реализуется в виде междисциплинарного экзамена, экзаменационные билеты которого формируются из ФОС дисциплин, определяющих доминирующее направление деятельности выпускников (в ВГТУ доминирующими направлениями являются проектно–конструкторская или научно–исследовательская деятельность).

Шкалы оценивания. Оценки «отлично» и «хорошо» предполагают, что компетенции сформированы, «удовлетворительно» говорит о частичном формировании компетенции на приемлемом уровне. Оценка «неудовлетворительно» - компетенции не сформированы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие материалы, применяемые при изготовлении РЭС, называют конструкционными, а какие – радиоматериалами?
2. Какие классы радиоматериалов в зависимости от электрических и магнитных свойств Вы знаете?
3. Охарактеризуйте виды химических связей и их взаимосвязь с механическими свойствами твердых тел.
4. Какую структуру могут иметь твердые тела и какими методами определяется эта структура?
5. Какие тела называют кристаллическими? Приведите примеры.
6. Что такое кристаллическая решётка, решетка Бравэ, решетка с базисом?
7. Что такое индексы Миллера? Как определяются индексы узлов, направления и плоскостей в кристаллической решетке?
8. Опишите особенности структуры аморфных твердых тел.
9. Как по своей структуре классифицируются полимеры?
10. Какую структуру имеют металлы?
11. Приведите примеры металлов, кристаллическая структура которых характеризуется плотной кубической упаковкой ионов-шаров.
12. Определите, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, ОЦК и ГЦК решеткой.
13. Приведите примеры ионных кристаллов. Какую структуру они имеют?
14. Какие структуры характерны для элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений?
15. В чем заключается явление полиморфизма? Приведите примеры.

16. Какие дефекты кристаллической решетки Вы знаете? Приведите примеры.

17. Изобразите точечные дефекты кристаллов, линейную и винтовую дислокации.

18. Можно ли создать бездефектные кристаллы? Какие существуют пути улучшения механических свойств твердых тел?

19. Какие вещества называют стеклами и ситаллами? Какова их структура?

20. Что такое аморфные металлы? Как их получают?

21. Какие аморфные полупроводники Вы знаете?

22. Как по своей структуре классифицируются полимеры?

23. Какие физические состояния имеют линейные полимеры в зависимости от температуры. Опишите их.

24. Назовите параметры, определяющие эксплуатационные и технологические свойства полимеров?

25. Какую структуру имеет керамика? Каковы свойства аморфных материалов?

26. Какую структуру могут иметь тонкие металлические пленки?

27. Назовите и объясните механизмы роста тонких пленок.

28. Что называют размерным эффектом в тонких пленках?

29. Что собой представляют перспективные углеродистые структуры?

30. Что определяет волновая функция? Какое состояние электрона называется стационарным?

31. Какими квантовыми числами определяется состояние электрона в изолированном атоме? Что они определяют?

32. Приведите и прокомментируйте схему энергетических уровней многоэлектронного изолированного

атома. Рассмотрите число состояний на энергетических уровнях атома.

33. Что происходит с энергетическими зонами атомов при образовании кристалла? Приведите и объясните схему образования энергетических зон в кристалле.

34. Какие зоны называют валентной, зоной проводимости, запрещенной зоной?

35. Что такое волновой вектор электрона? Приведите и объясните закон дисперсии и соответствующий график для свободно движущихся электронов.

36. Что называют функцией Блоха? Объясните дисперсионные кривые для электронов, движущихся в периодическом поле кристалла.

37. Что такое зоны Бриллюэна? Укажите их на расширенной зонной схеме.

38. Что называют дном энергетической зоны и вершиной или потолком зоны? В чем физическая природа разрывов в энергетическом спектре электрона?

39. Объясните понятие эффективной массы электрона.

40. Чем различаются зонные структуры металлов, полупроводников и диэлектриков? Чему равна ширина запрещенной зоны этих веществ?

41. Какие материалы называются проводниковыми? Приведите классификацию проводниковых материалов.

42. Объясните механизм высокой электропроводности металлов. Приведите аналитическое выражение закона Ома.

43. Как зависит проводимость металлов от температуры? Что такое температурный коэффициент удельного сопротивления?

44. Как влияют примеси на удельное сопротивление металлов? Сформулируйте правило Маттисена.

45. Каким образом механические деформации влияют на удельное сопротивление металлов?

46. Как зависит удельное сопротивление тонких металлических пленок от их толщины и почему?

47. Что называют термо - э.д.с. и контактной разностью потенциалов, в чем причины их возникновения? Что такое «термопара»?

48. Какие металлы называются металлами высокой проводимости? Приведите примеры.

49. Какие свойства золота обуславливают применение его в радиоэлектронных средствах? Приведите конкретные примеры использования его в РЭС.

50. Приведите основные свойства серебра и конкретные примеры его использования в РЭС. Почему серебро не используется для создания электрических контактов в микроэлектронике?

51. Какие свойства меди обуславливают ее широкое применение в радиоэлектронике? Назовите области применения меди. Что такое «водородная болезнь»?

52. Какими преимуществами и недостатками по сравнению с медью обладает алюминий? Укажите области применения алюминия в электронной технике.

53. Чем обусловлено широкое применение тантала в производстве конденсаторов?

54. Какие сплавы называются сплавами высокого сопротивления? Назовите их и укажите области применения в электронной технике.

55. Какие резистивные материалы применяются для изготовления резистивных элементов (пленочных и дискретных)?

56. Что такое термобиметаллы и тензометрические сплавы? Приведите примеры и назовите области их применения.

57. Что такое сверхпроводимость? Какие металлы и в каких условиях переходят в состояние сверхпроводимости? Объясните физическую природу сверхпроводимости.

58. Как влияет магнитное поле на критическую температуру перехода в состояние сверхпроводимости? Чем различаются сверхпроводники первого и второго рода?

59. Что такое высокотемпературная сверхпроводимость? Назовите материалы с самой высокой критической температурой перехода в сверхпроводящее состояние на сегодняшний день.

60. Какие материалы называют криопроводниками? Приведите примеры и расскажите о применении сверхпроводников и криопроводников в современной радиоэлектронике.

61. Какие материалы называют припоями? Укажите их назначение в устройствах РЭС.

62. Приведите состав припоя ПОС-61, его свойства и укажите, почему его применяют при ответственной пайке (например, радиоэлементов на печатных платах).

63. Почему припой ПОСК-50-18 не применяют для пайки радиоэлементов с позолоченными выводами и какой припой применяют при этом?

64. Какие вещества называются полупроводниками? В чем заключается особенность их свойств?

65. Какие функции выполняют полупроводниковые материалы в РЭС?

66. Как классифицируются полупроводниковые материалы по структуре и по составу?

67. Какие полупроводники называют собственными, а какие примесными? Какие примеси являются донорными, а какие акцепторными? Приведите примеры.

68. Какие полупроводники называются электронными, какие дырочными? Дайте определение основных и неосновных носителей заряда.

69. Что такое ширина запрещенной зоны, в каких единицах она измеряется? Как влияет ширина запрещенной зоны на рабочую температуру ПП изделия?

70. Что такое подвижность и концентрация носителей заряда? Как влияет подвижность носителей на частотные свойства ПП изделия?

71. Объясните температурную зависимость удельной проводимости полупроводников.

72. Как влияет деформация на проводимость полупроводников? Что такое тензочувствительность?

73. В чем заключается сущность эффекта Ганна?

74. Что такое люминесценция, какие вещества называют люминофорами?

75. Назовите основные свойства кремния, его достоинства и области применения. Какими методами получают монокристаллы высокоомного и низкоомного кремния?

76. Какой кремний с точки зрения содержания дефектов применяют для получения эпитаксиальных структур?

77. Назовите основные свойства германия, его недостатки и достоинства, область применения и методы получения.

78. Назовите основные свойства карбида кремния, какими методами его получают? Назовите основные области применения SiC, в чем его преимущество перед элементарными полупроводниками?

79. Какие элементы образуют полупроводниковые соединения $A^{III}B^V$? Какой тип химической связи и структуры для них характерен?

80. Каковы основные свойства соединений $A^{III}B^V$ и особенности методов их получения? Назовите область применения $A^{III}B^V$. В чем преимущество полупроводниковых приборов на основе арсенида галлия по сравнению с кремниевыми и германиевыми?

81. Чем обусловлен интерес к твердым растворам полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$?

82. Что называют гетеропереходом? Какие материалы среди полупроводников $A^{III}B^V$ являются лучшими для создания гетеропереходов? Какие материалы используются для изготовления инжекционных лазеров и светодиодов?

83. Какие материалы относят к полупроводниковым соединениям $A^{II}B^{VI}$, каковы их основные свойства и особенности? Укажите области их применения.

84. Какие вещества включают в себя полупроводниковые соединения $A^{IV}B^{VI}$? Какова их структура и основные свойства, в чем проявляется аномалия некоторых свойств? Какие полупроводниковые приборы разрабатываются на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$ и их твердых растворов?

85. Какие перспективные полупроводниковые материалы Вы знаете? Укажите области их потенциального применения.

86. Какие материалы называют диэлектрическими?

87. Что называют поляризацией? Какие виды поляризации считают мгновенными, а какие замедленными и в чем их различие?

88. Какие виды поляризации наблюдаются в неполярных и полярных органических диэлектриках и в диэлектриках ионной структуры?

89. Что характеризует относительная диэлектрическая проницаемость диэлектриков и как она изменяется от температуры и частоты?

90. Каков механизм электропроводности твердых диэлектриков и почему электропроводность диэлектриков мала? Какими токами определяется проводимость диэлектриков при постоянном и переменном напряжениях?

91. Приведите формулы для определения удельного, объемного и поверхностного сопротивлений и в каких единицах их измеряют.

92. Как влияет влажность на величину удельного поверхностного сопротивления твердых диэлектриков различной структуры?

93. Что называют диэлектрическими потерями? Какие существуют механизмы диэлектрических потерь?

94. Чем характеризуют способность диэлектриков рассеивать энергию в электрическом поле? Какой угол называют углом диэлектрических потерь?

95. Каков характер изменения $\operatorname{tg} \delta$ в зависимости от частоты при наличии релаксационных потерь в диэлектриках?

96. Какие значения диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ должны иметь диэлектрики, применяемые в области высоких и сверхвысоких частот?

97. Что понимается под явлением пробоя в диэлектриках? Как определяется электрическая прочность диэлектриков?

98. Какие существуют механизмы пробоя твердых диэлектриков? Каковы условия проявления каждого из них?

99. Изобразите структуру макромолекулы линейного полимера и, исходя из структуры, объясните, какие полимеры относятся к неполярным, а какие к полярным.

100. Какие полимеры используются в качестве высокочастотных диэлектриков и почему?

101. Какие типы химической связи существуют внутри макромолекул и между ними в линейных полимерах и в полимерах с пространственной структурой?

102. По каким свойствам одни полимеры называют термопластичными, а другие термореактивными? Какими структурными особенностями обладают первые и вторые полимеры? Приведите примеры термопластичных и термореактивных полимеров.

103. Объясните, что значит стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее состояния полимеров? В каком состоянии полимеры используются как диэлектрические материалы в эксплуатации?

104. Каким требованиям должны отвечать диэлектрические материалы, применяемые для изготовления каркасов индуктивных элементов НЧ и ВЧ диапазонов?

105. Какие ненаполненные пластмассы относятся к неполярным диэлектрикам и какие к полярным? Приведите примеры и область их применения.

106. Какие ненаполненные пластмассы относят к термостойким? Приведите область их применения.

107. Какие полимеры называют ударопрочными и почему? Для изготовления каких деталей они применяются?

108. Какие смолы и какие наполнители входят в композиционные пластмассы - прессматериалы, какова их роль и по каким признакам классифицируют прессматериалы? Приведите примеры применения прессматериалов для изготовления деталей РЭС.

109. Что представляют собой гетинакс, текстолит и стеклотекстолит? Какой из этих листовых материалов обладает более высокой влагостойкостью и почему?

110. Какие листовые пластмассы применяют для изготовления оснований однослойных и многослойных печатных плат КВ диапазона?

111. Какие материалы применяют для изготовления полосковых линий СВЧ диапазона и почему?

112. Что представляют собой лаки, и для каких целей они используются в устройствах РЭС?

113. . В чем отличие эмалей от лаков, и для каких целей их применяют в устройствах РЭС?

114. Что представляют собой компаунды и какие имеют преимущества перед лаками и эмалями как герметизирующие покрытия? Приведите примеры использования компаундов.

115. Почему стекла называют аморфными материалами? Укажите структурные особенности силикатных стекол и их общие свойства.

116. Какие стекла применяются в устройствах РЭС? Приведите их основные характеристики?

117. Приведите основные свойства кварцевого стекла и особенность его применения.

118. В чем сходство и различие между стеклом и ситаллом по структуре и свойствам? Какие марки ситаллов применяются для изготовления подложек ГИС?

119. Какие материалы называют керамическими? Приведите структуру керамики и принцип классификации керамических материалов по диэлектрическим свойствам и применению.

120. Какими диэлектрическими свойствами должна обладать высокочастотная керамика? Какие виды керамик

применяются для изготовления установочных высокочастотных деталей?

121. Какие материалы применяются для изготовления подложек толсто пленочных и тонко пленочных ГИС?

122. Какой керамический материал применяют для подложек ГИС повышенной мощности и почему?

123. Какими диэлектрическими свойствами должна обладать высокочастотная конденсаторная керамика?

124. Как классифицируется высокочастотная конденсаторная керамика по величине температурного коэффициента диэлектрической проницаемости? На основе каких соединений синтезируют высокочастотную конденсаторную керамику?

125. Из какой керамики изготавливают конденсаторы большой емкости и почему?

126. Какими основными свойствами должны обладать материалы для диэлектрических резонаторов?

127. Какие органические и неорганические диэлектрики с малым значением диэлектрической проницаемости ($\epsilon < 10$) применяют для изготовления диэлектрических резонаторов?

128. Какие диэлектрики называют активными и почему?

129. Какие диэлектрики называют сегнетоэлектриками? Как изменяется диэлектрическая проницаемость в сегнетоэлектриках от температуры и напряженности электрического поля?

130. Приведите классификацию сегнетоэлектриков по химическому составу.

131. Приведите примеры практического использования сегнетоэлектрических материалов в устройствах РЭС. На каких свойствах материалов основано их применение?

132. Что такое прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты? В каких диэлектриках наблюдается пьезоэффект?

133. Какими основными параметрами характеризуются пьезоматериалы?

134. Какие основные срезы существуют в монокристаллическом кварце? Какой из срезов обладает наибольшей температурной стабильностью.

135. Приведите примеры применения кварцевых резонаторов в устройствах РЭС.

136. Какие пьезоэлектрические материалы применяются при изготовлении различных функциональных устройств на поверхностных акустических волнах? Каким требованиям должны отвечать эти материалы?

137. Назовите основные поликристаллические материалы, обладающие пьезоэлектрическим эффектом. В чем преимущества поликристаллических пьезоэлектриков перед монокристаллическими и в чем их недостаток?

138. Что такое электретное состояние диэлектрика и каким способом его получают?

139. Назовите основные материалы, на основе которых получают электреты и область применения электретов.

140. Какие основные требования предъявляются к диэлектрику как лазерному материалу и к активатору?

141. Назовите основные материалы, используемые при изготовлении твердотельных лазеров.

142. Какие вещества называют жидкими кристаллами? Назовите температурную область существования жидкокристаллического состояния.

143. В чем различие по структуре нематических и холестерических жидких кристаллов?

144. Какими анизотропными свойствами обладают жидкие кристаллы?

145. Какие жидкие кристаллы применяют при изготовлении различных видов индикаторов (цифровых индикаторов электронных приборов, экранов мониторов ЭВМ, экранов телевизоров)?

146. Какие материалы называют магнитными?

147. Дайте определение *относительной магнитной проницаемости* и приведите выражение, связывающее

относительную магнитную проницаемость с магнитной индукцией и напряженностью внешнего магнитного поля.

148. Как классифицируются вещества в зависимости от величины магнитной восприимчивости?

149. Как ориентируются векторы намагниченности относительно друг другу в ферро-, ферри- и антиферромагнетиках? Приведите примеры материалов, обладающих ферро-, ферри- и антиферромагнитными свойствами.

150. Объясните природу ферромагнитного состояния, появление доменной структуры и магнитной анизотропии ферромагнетиков.

151. По графику основной кривой намагничивания объясните механизм намагничивания ферромагнитных материалов.

152. Изобразите кривую намагничивания при циклическом перемагничивании (петлю гистерезиса) и укажите на ней B_s , B_r и H_c . Объясните значения этих величин.

153. Приведите классификацию ферромагнитных материалов по виду петли гистерезиса, величине коэрцитивной силы и функциональному назначению.

154. Какие бывают виды магнитной проницаемости, применяемые при расчетах различных устройств с магнитными материалами?

155. Какие виды потерь существуют в магнитных материалах и каковы причины их возникновения? Каков характер изменения удельных магнитных потерь на гистерезис и вихревые токи в зависимости от частоты внешнего магнитного поля?

156. Дайте определение тангенса угла магнитных потерь и напишите, по какой формуле он определяется.

157. Что называют коэрцитивной силой?

158. Почему электротехническую сталь, пермаллой называют магнитомягкими материалами?

159. Почему электротехническую сталь и пермаллой применяют в низкочастотных магнитных полях?

160. Почему ферриты и магнитоэлектрики могут применяться в высокочастотных магнитных полях?

161. Что представляют собой по структуре ферриты и магнитоэлектрики?

162. Какую частоту внешнего магнитного поля называют критической частотой $f_{кр}$ для ферритов?

163. Приведите химическую формулу феррита (например, никель-цинкового).

164. Расшифруйте марки ферритов: 2000НМ, 1000НН, 100ВН.

165. Какую величину коэрцитивной силы должны иметь магнитные материалы, применяемые для изготовления постоянных магнитов?

166. Дайте определение радиоматериала и радиокомпонента.

167. Почему серебро, золото и платину редко используют в качестве соединительных проводников?

168. В чем разница между медными соединительными, монтажными и обмоточными проводами и проводами с высоким электросопротивлением?

169. Поясните название: «экранированные провода и кабели».

170. Почему для характеристики проводников электрического тока используют сечение провода?

171. Можно ли на схемах линии соединительных проводников проводить в произвольном направлении?

172. Чем отличается условное графическое обозначение вилок и розеток, соединительных разъемов?

173. Какова роль переключателей в электронных изделиях?

174. Охарактеризуйте понятия, используемые для переключателей: «количество положений и направлений».

175. Чем отличаются по конструкции кнопочные и галетные переключатели и тумблеры?

176. Чем различаются условные обозначения переключателей на два и три положения, на два и три направления?

177. Для каких целей используются электромагнитные реле?

178. Чем отличаются герконовые и поляризованные реле от обычных электромагнитных реле?

179. В чем сходство и отличие условных графических обозначений электромагнитных реле и переключателей?

180. Сравните значения удельного сопротивления проводников, полупроводников и диэлектриков.

181. Какие полупроводники называются собственными, а какие примесными? Приведите и объясните зонные диаграммы этих полупроводников.

182. Какие носители заряда называются равновесными или тепловыми?

183. Как определяется вероятность нахождения электрона на данном энергетическом уровне? Что такое уровень Ферми? Укажите его положение на зонной диаграмме собственного полупроводника.

184. Что понимают под работой выхода электронов?

185. Почему возникает контактная разность потенциалов при контакте металл – полупроводник?

186. Что такое прямое и обратное включение перехода металл – полупроводник?

187. Какой переход между металлом и полупроводником называется омическим, при каких условиях он образуется?

188. Что такое барьер или переход Шоттки? При каких условиях электрический переход между металлом и полупроводником будет выпрямляющим?

189. Какой переход называют электронно-дырочным переходом или *p-n*-переходом?

190. Какими методами создается *p-n*-переход?

191. Что такое ток диффузии в *p-n*-переходе, чему он равен и каково его направление?

192. Объясните механизм возникновения контактной разности потенциалов U_k между *p*- и *n*-областями.

193. От чего зависит величина U_k и чему она равна для кремниевых и германиевых переходов?

194. Как образуется потенциальный барьер p - n -перехода, чему он равен и как меняется его высота при изменении температуры и концентрации примесей в прилегающих к переходу областях?

195. Что такое тепловой или дрейфовый ток в p - n -переходе, чему он равен и как направлен?

196. Как можно записать условие электрической нейтральности p - n -перехода и каков физический смысл этого условия?

197. Что такое прямое и обратное включение p - n -перехода? Как меняется высота потенциального барьера при прямом и обратном включении?

198. Как изменяется толщина p - n -перехода при изменении приложенного напряжения?

199. Какой ток через p - n -переход называется обратным, какой прямым, чему они равны?

200. Нарисуйте и объясните вольт-амперную характеристику p - n -перехода.

201. Что определяют названия «диод», «полупроводниковый диод», «вентильный эффект»?

202. Сколько элементов включает обозначение полупроводниковых диодов? Что определяет буква второго элемента обозначения?

203. Поясните понятия «прямая» и «обратная» ВАХ диода.

204. Чем отличаются прямая и обратная ВАХ идеализированного и реального диодов (p - n переходов).

205. Поясните различие прямых ВАХ для диодов типов Д9Б, КД103А, АЛ307Б, 1И301Б.

206. Чем отличаются условные графические обозначения диодов разных подклассов?

207. Что понимают под математической моделью и схемой замещения полупроводникового диода? Какие вы знаете простейшие модели диодов?

208. Почему выпрямительные полупроводниковые диоды являются плоскостными?

209. Почему импульсные диоды по конструкции как правило являются точечными.

210. Что определяют названия «смесительные и детекторные» полупроводниковые диоды?

211. Почему у стабилитронов используется обратная ветвь ВАХ?

212. Чем отличается режим работы варикапов (по току диода) от стабилитронов?

213. Что определяют с позиции физики процессов в р-п переходах в названиях фотодиодов и светодиодов слова «фото- и свето-»?

214. Можно ли у фотодиодов использовать не обратную, а прямую ветвь ВАХ?

215. Почему оптроны обеспечивают гальваническую развязку электрических цепей?

216. Чем отличаются оптроны, имеющие второй элемент обозначений: ОР, ОД, ОТ и ОУ?

217. Почему туннельные диоды относятся к диодам N-типа?

218. Почему туннельные диоды используются в генераторах СВЧ сигналов? Поясните их работу?

219. Почему тиристоры, имеющие структуру р-п-р-п, по классификации относят к подклассу диодов?

220. Чем триодный тиристор по принципу работы отличается от диодного тиристора – динистора?

221. Что определяет возможность использования триодных тириستоров в регулируемых источниках напряжения?

222. Почему при графическом методе расчета электрических цепей необходимо строить ВАХ диода и нагрузочную прямую?

223. Что такое транзистор, биполярный транзистор?

224. Какие бывают структуры транзисторов и как они обозначаются?

225. Какие три области имеет биполярный транзистор, какой переход называют эмиттерным, какой коллекторным?

226. Как обычно смещаются переходы транзистора, что такое обратное включение?

227. Какие основные требования необходимо выполнять при изготовлении транзисторов?

228. Какие бывают схемы включения транзисторов? Начертите их.

229. Что такое коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности для схемы с ОБ, чему они равны?

230. Определите коэффициенты усиления по току, по напряжению и мощности для схемы с ОЭ.

231. Определите коэффициенты усиления по току, по напряжению и мощности для схемы с ОК.

232. Проанализируйте основные параметры биполярного транзистора в зависимости от схемы включения.

233. Что представляет собой транзистор с точки зрения теории электрических цепей?

234. Нарисуйте семейство входных и выходных характеристик в схемах с ОБ и ОЭ.

235. Как определяются дифференциальные коэффициенты усиления по току в схемах с ОБ и ОЭ?

236. Что такое статические параметры транзисторов? Определите их физический смысл.

237. Какие физические параметры транзистора Вы знаете? Как они связаны с h -параметрами?

238. Назовите предельно допустимые параметры транзистора.

239. Какие существуют режимы работы транзистора?

240. Какие эффекты определяют частотные свойства транзисторов? Назовите параметры, характеризующие эти свойства.

241. Расскажите про классификацию и систему обозначения транзисторов.

242. Какие транзисторы называют полевыми (униполярными)?

243. Назовите характерные черты полевых транзисторов.

244. Какие два основных типа полевых транзисторов Вы знаете?

245. Нарисуйте схему устройства полевого транзистора с одним и двумя управляющими p - n -переходами и расскажите о принципе его работы.

246. Нарисуйте стокозатворную и выходные характеристики полевого транзистора с управляющим p - n -переходом и прокомментируйте их.

247. Назовите основные параметры полевых транзисторов с управляющим p - n -переходом.

248. Нарисуйте структуру МДП-транзистора со встроенным каналом и объясните принцип его работы.

249. Нарисуйте входные и выходные характеристики МДП-транзистора со встроенным каналом и объясните их.

250. Объясните схему устройства и принцип работы МДП-транзистора с индуцированным каналом.

251. Нарисуйте и прокомментируйте характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом.

252. Каковы основные параметры МДП-транзисторов и их ориентировочные значения?

253. Какие схемы включения полевых транзисторов Вы знаете?

254. Приведите систему обозначения и графические обозначения полевых транзисторов.

255. Поясните понятия: функциональные узлы, интегральный процесс, интегральная схема, микросхема.

256. Чем отличаются гибридные интегральные схемы от полупроводниковых?

257. Какое количество элементов в корпусе содержат интегральные схемы малой, средней, большой и сверхбольшой степени интеграции?

258. Расскажите про классификацию интегральных схем по классам, сериям и функциональным признакам (подгруппы).

259. Расскажите про маркировку отечественных интегральных схем, используемую в настоящее время.

260. Расскажите про обозначение интегральных схем на принципиальных электрических схемах.

261. Какие буквы и знаки используются для обозначения функционального назначения элементов интегральных схем?

262. Назовите основные параметры интегральных схем и охарактеризуйте их.

263. Назовите известные вам серии аналоговых интегральных схем малой и средней степени интеграции.

264. Приведите примеры разных вариантов графического обозначения аналоговых интегральных схем.

265. Что вы знаете про базовые логические элементы цифровых интегральных схем?

266. Как делятся интегральные схемы в зависимости от их базовых элементов?

267. Приведите примеры известных Вам базовых логических элементов интегральных схем.

268. Назовите известные вам серии цифровых интегральных схем малой и средней степени интеграции.

269. Приведите примеры разных вариантов графического обозначения цифровых интегральных схем.

270. Расскажите о проблемах перехода от микроэлектроники к нанотехнологиям, от микрокомпонентов к нанокomпонентам.

271. Сформируйте основные понятия и определения нанотехнологий.

272. Что такое сверхрешетки? Какие приборы созданы на их основе?

273. Какие объекты называются квантовыми точками и квантовыми проволоками?

274. Что представляют собой фуллерены, фуллериды, нанотрубки? Какое применение они находят в нанoeлектронике?

275. Что такое спинотроника?

276. Какие материалы называют ферромагнитными полупроводниками?

277. Какой эффект называют гигантским магнитосопротивлением? Где он используется?

278. Какое направление нанoeлектроники называется молекулярной электроникой?

279. Что такое резонансно-туннельный эффект? Объясните устройство и принцип работы резонансно-туннельного диода.

280. Какой эффект называется кулоновской блокадой? Расскажите об устройстве и работе металлического одноэлектронного транзистора.

281. Приведите схему и объясните принцип действия спинового полевого транзистора.

282. Расскажите о молекулах-диодах, молекулах-транзисторах, молекулярных ИМС.

283. Что вам известно о ДНК-шинах и ДНК-матрицах?

284. Объясните основы функционирования молекулярного элемента памяти.

285. Объясните устройство и принцип действия транзисторов на индуцированных квантовых точках и проволоках.

286. Как можно получить диод Шоттки на основе нанотрубки?

287. Приведите схему и объясните принцип действия полевого и комплементарного транзисторов на нанотрубке.

288. Какова структура и принцип действия кремневых нанотранзисторов: КНИ- транзисторов и транзисторов с двойным затвором?

289. Расскажите о наногетеротранзисторах: полевых-, НЕМТ-, MODFET-, транзисторах на квантовых точках.

290. Что вам известно о квантовых компьютерах и устройстве их элементной базы?

291. Какие устройства квантовой и оптической нанoeлектроники вы знаете?

292. Что называют структурами с пониженной размерностью?

293. Что представляют собой лазерные наноструктуры?

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

1. Почему надо учитывать α и β контактирующих материалов?
2. Расскажите о методике измерения α твёрдых тел.
3. Нарисуйте дилатометр и объясните принцип его работы.
4. Какие материалы использовались для изготовления дилатометра и почему?
5. Как произвести расчет КТЛР для любого заданного температурного интервала и для данной температуры?
6. Какие напряжения возникают в стекле и металле спая, если $\alpha_{ст} > \alpha_m$?
7. Какие напряжения возникают в стекле и металле спая, если $\alpha_{ст} < \alpha_m$?
8. Охарактеризуйте распространение объемных волн в изотропных твердых телах.
9. Расскажите о методах возбуждения и регистрации объемных акустических волн в твердых телах.
10. Опишите методику измерения скорости объемных волн.
11. Охарактеризуйте методику измерения поглощения ультразвука в твердых телах.
12. Приведите схему лабораторной установки, расскажите о порядке работы с приборами, входящими в её состав.
13. Как измеряется температурный коэффициент задержки?
14. Как связаны $TKЗ$ и TKC ?
15. Какие параметры твёрдого тела характеризуют упругие модули?
16. Сравните полученные значения модулей Юнга и сдвига исследованных стёкол с аналогичными параметрами алмаза, металлов и эластомеров. Чем обусловлена столь значительная разница этих параметров?
17. Чем обусловлено сопротивление тонких метал-

лических пленок?

18. Какое влияние на проводимость пленок оказывают структурные дефекты?

19. Что такое диффузное и зеркальное рассеяние электронов на поверхностях пленки?

20. Как измеряется толщина плёночных образцов?

21. Как определяется величина удельного поверхностного сопротивления?

22. Каким образом вычисляются параметры размерного эффекта: значения $\bar{l}$, ρ , n_z/n_d ?

23. Укажите области применения тонких металлических плёнок.

24. Приведите схему лабораторной установки. Объясните методику проведения измерений и расчетов.

25. Какой материал имеет большую величину удельного сопротивления: медь или константан и почему?

26. Что называют температурным коэффициентом удельного сопротивления? Чему он равен для большинства металлов?

27. Почему электропроводность металлов и сплавов падает с ростом температуры, а полупроводников растёт?

28. Что такое ширина запрещенной зоны полупроводника и энергия активации примесей? В каких единицах они измеряются и на какие параметры полупроводников влияют?

29. Какие методы измерения ширины запрещенной зоны полупроводников Вы знаете?

30. Как можно использовать зависимость электропроводности металлов, сплавов и полупроводников от температуры? Приведите примеры.

31. Объясните устройство термоэлектрического охлаждающего модуля и схему лабораторной установки.

32. Как определяется величина оптимального тока $I_{опт}$?

33. Почему снятая Вами зависимость $U = f(I)$ нелинейна?

34. Почему величина термо-ЭДС, измеряемая после отключения внешнего источника быстро снижается?

35. Как рассчитывается коэффициент Пельтье, термоэлектрическая добротность и холодильный коэффициент?

36. Как на практике используются эффекты Зеебека и Пельтье? Приведите примеры.

37. Каким образом можно использовать эффект Пельтье для нагрева и почему этот эффект не используют для обогрева жилых и производственных помещений?

38. Как устроен вакуумный пост ЭВП-2?

39. Расскажите о порядке включения и выключения вакуумной установки ЭВП-2.

40. Охарактеризуйте используемые в работе испарители и подложки. Каковы критерии выбора испарителя для напыления тонких пленок?

41. Как осуществляется подготовка подложек?

42. Каков порядок измерения сопротивления тонких пленок с помощью потенциометра УПИП — 60М? Объясните методику расчета их удельного сопротивления.

43. Какие материалы используются для получения тонкопленочных резисторов? Назовите их основные параметры.

44. Приведите конфигурации тонкопленочных резисторов.

45. Объясните методику расчета тонкопленочных резисторов.

46. Каково назначение и состав комплекса МУК-ФОЭ1

47. В чём состоит подготовка к работе комплекса?

48. Расскажите о назначении и технических данных генератора ГНЗ-03а.

49. Объясните устройство и принцип работы прибора.

50. Расскажите о порядке работы с генератором.

51. Каковы назначение, технические данные и состав амперметра-вольтметра АВ1-13?

52. Объясните устройство, конструкцию и принцип работы прибора.

53. В чём заключается подготовка к работе и эксплуатация прибора?

54. Для чего предназначен блок БЛ2-03? Привести технические характеристики блока.
55. Объясните устройство и принцип работы прибора.
56. Расскажите про эксплуатацию блока БЛ2-03.
57. Что представляет собой лабораторный стенд СЗ-ТТ02-2?
58. В чем заключаются подготовка к работе и указания по эксплуатации стенда?
59. Каковы назначение, технические данные и состав стенда СЗ-ЭЛ01?
60. Характеристики каких приборов позволяет исследовать стенд СЗ-ЭЛ02?
61. Как осуществляется подготовка к работе, эксплуатация и техническое обслуживание стенда?
62. Расскажите о мерах безопасности при эксплуатации комплекса МУК-ФОЭ1.
63. Приведите схему лабораторной установки. Объясните методику проведения измерений и расчетов.
64. Какой материал имеет большую величину удельного сопротивления: медь или константан и почему?
65. Что называют температурным коэффициентом удельного сопротивления? Чему он равен для большинства металлов?
66. Почему электропроводность металлов и сплавов падает с ростом температуры, а полупроводников растет?
67. Что такое ширина запрещенной зоны полупроводника и энергия активации примесей? В каких единицах они измеряются и на какие параметры полупроводников влияют?
68. Какие методы измерения ширины запрещенной зоны полупроводников Вы знаете?
69. Как можно использовать зависимость электропроводности металлов, сплавов и полупроводников от температуры? Приведите примеры.
70. Привести схему лабораторной установки. Объяснить методику проведения измерений и расчетов.

71. Укажите на ВАХ диодов прямую и обратную ветвь. Почему ток в прямом включении больше обратного.

72. Как определяется $I_{обр}$ и $U_{пр}$?

73. Что такое ТКН прямой ветви, как он определяется?

74. Почему с увеличением температуры увеличивается прямой и обратный ток?

75. Как изменяется напряжение пробоя при повышении температуры у кремниевых и германиевых диодов?

76. Приведите значения пробивных напряжений и падение прямых напряжений кремниевых и германиевых выпрямительных диодов.

77. В чём причина отличия ВАХ кремниевых и германиевых диодов.

78. Почему $I_{обр}$ кремниевых диодов значительно меньше $I_{обр}$ германиевых?

79. Укажите области применения полупроводниковых диодов?

80. Приведите схему лабораторной установки. Объясните методику проведения измерений.

81. В каком случае контакт металл-полупроводник будет омическим?

82. Приведите ВАХ диода Шоттки. В чем заключается особенность ВАХ по сравнению с ВАХ полупроводниковых диодов?

83. Как влияет температура на $U_{пр}$ и $I_{обр}$? Объясните эту зависимость.

84. В чем преимущества диодов Шоттки по сравнению с диодами с р-п переходом?

85. Из каких материалов изготавливают диоды Шоттки?

86. Укажите области применения диодов Шоттки.

87. Приведите схему лабораторной установки. Объясните методику проведения измерений и расчетов. Для чего в схему включен резистор R?

88. Чем туннельный стабилитрон отличается от лавинного?

89. Объясните температурные зависимости ВАХ и $U_{ст}$ от температуры.

90. Как определяется $U_{ст}$, $r_{ст}$ и $TKH_{ст}$ исследованных стабилитронов?

91. Проведите сравнительный анализ исследованных характеристик туннельного и лавинного стабилитронов.

92. Приведите основные параметры отечественных стабилитронов.

93. Приведите схему лабораторной установки. Объясните методику проведения измерений и расчетов.

94. По какой причине рекомендуется соблюдать полярность включения амперметра в анодную цепь, указанную на рис. 8? Для чего нужен резистор R_3 ?

95. Что такое I_y , $I_{вкл}$, $U_{вкл}$, как они определяются?

96. Как определяются $U_{уд}$ и $I_{уд}$?

97. Назовите области применения тиристоров.

98. Приведите схемы лабораторной установки для исследования входных и выходных характеристик р-п и п-р-п транзисторов в схеме с общей базой.

99. Объясните методику проведения измерений и расчетов.

100. Объясните методику проведения измерений и расчетов.

101. Объясните принцип действия биполярного транзистора.

102. От каких факторов зависит коэффициент передачи тока α ?

103. Объясните ход статических ВАХ транзистора в схеме с ОБ.

104. Объясните физическую природу токов в $I_{кб0}$ $I_{эб0}$

105. Объясните физический смысл и порядок определения h-параметров в схеме с ОБ.

106. Поясните структуру базового тока в транзисторе.

107. Почему уменьшается базовый ток при увеличении $U_{кб}$?

108. Как изменится ток коллектора при увеличении тока базы на 10 мкА, если $\alpha=0,95$?

109. Проведите сравнительный анализ характеристик и параметров транзисторов КТ818 и КТ819. Какова цель разработки комплементарных р-п-р и п-р-п структур?

110. Приведите схемы лабораторной установки для исследования входных и выходных характеристик р-п и п-р-п транзисторов в схеме с общим эмиттером.

111. Объясните полярность включения источника питания в схемах с ОЭ.

112. Объясните ход статических ВАХ транзистора в схеме с ОЭ.

113. Объяснить физический смысл и порядок определения h-параметров в схеме с ОЭ.

114. Как определяется коэффициент передачи по току в схеме с ОЭ?

115. Сравните усилительные свойства транзистора в схемах с ОБ и ОЭ.

116. Проведите анализ статических ВАХ транзистора в схеме с ОЭ.

117. Объясните физический смысл и порядок определения n-параметров в схеме с ОЭ.

118. Как определить сопротивление эмиттерного и коллекторного переходов из h-параметров транзистора в схеме с ОЭ?

119. Сравните характеристики и параметры транзисторов КТ818 и КТ819. Какова цель разработки комплементарных р-п-р и п-р-п структур?

120. Нарисуйте схемы для исследования статических характеристик ПТ с управляющим р-п переходом с п- и р-каналами.

121. Объясните полярность включения приборов в схемах.

122. Расскажите о методике проведения измерений.

123. Приведите и объясните стокозатворную ВАХ ПТ КП302. Какие параметры ПТ и как определяются из этой характеристики?

124. Приведите и проанализируйте выходные статические ВАХ ПТ КП302 с управляющим р-п-переходом.

125. Какие параметры ПТ и как определяются из выходных ВАХ?

126. Дайте определение предельным эксплуатационным параметрам ПТ.

127. Как определяется коэффициент передачи по току в схеме с ОЭ?

128. Сравните усилительные свойства транзистора в схемах с ОБ и ОЭ.

129. Проведите анализ статических ВАХ транзистора в схеме с ОЭ.

130. Объясните физический смысл и порядок определения n-параметров в схеме с ОЭ.

131. Как определить сопротивление эмиттерного и коллекторного переходов из h-параметров транзистора в схеме с ОЭ?

132. Сравните характеристики и параметры транзисторов КТ818 и КТ819. Какова цель разработки комплементарных р-п-р и н-р-п структур?

133. Чем отличается МДП-транзистор от ПТС с управляющим р-п-переходом?

134. Укажите области применения МДП-транзисторов.

135. Какие материалы установлены в измерительной камере ИК1-2?

136. Приведите схемы измерительных ячеек для исследования диэлектриков с плоскими и коаксиальными электродами.

137. Как рассчитывается удельное поверхностное и объемное сопротивление?

138. Как определяется энергия активации носителей заряда диэлектриков из Ваших экспериментальных данных?

139. Расскажите о методике исследования электрической прочности диэлектриков с помощью генератора ГНВ1 и измерительной камеры ИК2-1.

140. Как устроена измерительная камера ИК2-1?

141. Объясните методику экспериментального исследования диэлектрической проницаемости и потерь в диэлектриках с помощью прибора ЛСМ1 и измерительной камеры ИК1-3.

142. Как вычисляется величина диэлектрической проницаемости?

143. Каким образом определяется энергия активации носителей из экспериментальных данных?

144. Расскажите о порядке работы с прибором ИСХ1.

145. Как устроен измерительный стенд СЗ-РМ02?

146. Как определяются основные параметры петли гистерезиса сегнетоэлектриков?

147. Объясните методику построения основной кулон-вольтовой кривой сегнетоконденсатора.

148. Как определяется эффективная емкость и эффективная диэлектрическая проницаемость?

149. Каким образом определяется температура Кюри?

150. Объясните устройство стенда СЗ-РМ01, приведите схему.

151. Расскажите о получении петли гистерезиса ферромагнетика с помощью прибора ИСХ1 и стенда СЗ-РМ01.

152. Как определяется коэрцитивная сила H_c и остаточная B_z ферромагнетика?

153. Как измеряется площадь петли гистерезиса и определяется мощность, расходуемая на один цикл перемагничивания?

154. Расскажите об определении индукции и напряженности магнитного поля B_m и H_m в ферромагнетике по кривой начального намагничивания. Как вычисляется магнитная проницаемость μ ?

155. Объясните работу измерительной камеры ИК1-4.

6. ЗАДАЧИ

6.1 Примеры решения задач

1. Каждая связь С—С в алмазе имеет энергию $W_{\text{св}} = 3,7$ эВ. Сколько энергии необходимо затратить для испарения 0,1 г алмаза?

Решение:

Число атомов, содержащихся в объеме вещества массой m ,

$$N = \frac{mN_0}{A},$$

где N_0 — число Авогадро; A — атомная (или молярная) масса.

Для алмаза массой 0,1 г

$$N = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{(12 \cdot 10^{-3})} = 5 \cdot 10^{21}.$$

Каждый атом углерода в структуре алмаза участвует в четырех ковалентных связях, поэтому число связей вдвое превышает число атомов. Энергия, необходимая для испарения 0,1 г алмаза:

$$W = 2NW_{\text{св}} = 2 \cdot 5 \cdot 10^{21} \cdot 3,7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 5920 \text{ Дж}.$$

2. Известно, что алюминий кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности, $a = 0,4041$ нм. Вычислите концентрацию свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится три электрона.

Решение:

В решетке гранецентрированного куба на одну элементарную ячейку приходится четыре атома.

Поэтому число атомов в единице объема

$$N = \frac{4}{a^3} = \left(\frac{4}{(0,4041 \cdot 10^{-9})^3} \right) = 6,06 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

Отсюда концентрация электронов

$$n = 3N = 18.18 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

3. Вычислите период кристаллической решетки меди, если ее плотность равна 8920 кг/м^3 , а элементарная ячейка представляет собой гранецентрированный куб. Определите объем, приходящийся на один атом.

Решение:

Рентгеновская плотность кристалла связана с периодом кубической решетки соотношением $d = K_m/a^3$, где m — масса атома; K — число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку (кратность ячейки). В случае гранецентрированного куба $K=4$, учитывая, что $m=A/N_0$, получаем:

$$a = \sqrt[3]{\frac{KA}{dN_0}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 63.54 \cdot 10^{-3}}{8920 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}} = 3.72 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,36 \text{ нм}.$$

На один атом решетки приходится объем

$$\begin{aligned} V_1 = a^3/K &= (3.2 \cdot 10^{-10})^3/4 = \frac{5.15}{4} \cdot 10^{-29} \text{ м}^3. \\ &= 1,18 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3. \end{aligned}$$

4. Определите минимальную длину волны де Бройля для свободных электронов при $T \approx 0\text{К}$ в металле с простой кубической кристаллической решеткой, если на каждый атом кристалла приходится один свободный электрон. Период решетки равен a .

Решение:

В кристалле с простой кубической решеткой на объем каждой элементарной ячейки приходится один атом, и соответственно, один свободный электрон. Поэтому концентрация свободных электронов определяется по формуле $n = a^{-3}$. С учетом этого минимальная длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{mu_F} = \frac{h}{\sqrt{2mW_F}} = \frac{h}{\sqrt{2m \frac{h^2}{8m} (\frac{3}{\pi a^3})^{2/3}}} = \frac{2a}{(\frac{3}{\pi})^{1/3}} \approx 2a.$$

5. Оцените среднее энергетическое расстояние δW между разрешенными энергетическими уровнями зоны проводимости в кристалле серебра объемом $V = 1 \text{ см}^3$, если энергия Ферми $W_F = 5,5 \text{ эВ}$.

Решение:

Среднее энергетическое расстояние между разрешенными уровнями

$$\delta W = W_F / N,$$

где N — число уровней, заполненных электронами.

Концентрация электронов связана с энергией Ферми выражением

$$n = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{2m_0}{h^2} \right)^{3/2} W^{3/2}.$$

Все уровни, лежащие ниже уровня Ферми W_F , практически полностью заполнены электронами, причем согласно принципу Паули на каждом уровне находится два электрона. Отсюда следует, что

$$\begin{aligned} \delta W &= \frac{W_F}{nV/2} = \frac{4\pi}{3V} \left(\frac{2m_0}{h^2} \right)^{3/2} W_F^{1/2} = \\ &= \frac{4 \cdot 3,14 (2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31})^{3/2} (5,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})^{1/2}}{3(6,62 \cdot 10^{-34})^3 \cdot 10^{-6}} = 3 \cdot 10^{-41} \text{ Дж} \\ &= 1,89 \cdot 10^{-22} \text{ эВ}. \end{aligned}$$

6. Вычислите длину свободного пробега электронов в меди при $T=300 \text{ К}$, если ее удельное сопротивление при этой температуре равно $0,017 \text{ мкОм/м}$.

Решение:

Согласно представлениям квантовой теории, удельное сопротивление металлов связано с длиной свободного пробега электронов l соотношением:

$$p = \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{1/3} \frac{h}{e^2 n^{2/3} J}.$$

Концентрация свободных электронов в меди:

$$n = d \frac{N_0}{A} = \frac{8920 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{63.54 \cdot 10^{-3}} = 8.45 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

Отсюда следует, что длина свободного пробега:

$$J = \left(\frac{3}{8 \cdot 3.14}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{6.62 \cdot 10^{-34}}{(1.6 \cdot 10^{-19})^2 (8.45 \cdot 10^{28})^{\frac{2}{3}} 0.017 \cdot 10^{-6}} = 3.89 \cdot 10^{-8} \text{ м}.$$

7. Определите время, в течение которого электрон пройдет расстояние 1 км по медному проводу, если удельное сопротивление меди 0,017 мкОм-м, а разность потенциалов на концах проводника $U=220$ В. За какое время электрон пролетит это же расстояние, двигаясь без соударений, при той же разности потенциалов? Каково время передачи сигнала?

Решение:

Из закона Ома следует, что удельная проводимость

$$y = \frac{env}{E}.$$

Концентрация свободных электронов в меди $n = 8.45 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$. Тогда средняя скорость дрейфа электронов

$$u = \frac{E}{pen} = \frac{U}{pel} = \frac{220}{0.017 \cdot 10^{-6} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 8.45 \cdot 10^{28} \cdot 10^3} = 9.6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}.$$

Время дрейфа электрона по проводнику:

$$t = \frac{1}{u} = 10^6 \text{ с}.$$

При отсутствии столкновений с узлами решетки электрон движется равноускорено и время пролета

$$t_{np} = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{2l^2 m}{eU}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31}}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 220}} =$$

$$= 2.26 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Передача энергии вдоль проводов линии осуществляется электромагнитным полем, распространяющимся вдоль проводов со скоростью света c . Полагая, что средой, окружающей провод, является воздух, время передачи сигнала

$$t_c = \frac{l}{c} = \frac{10^3}{3 \cdot 10^8} = 3.33 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

8. Определите температурный коэффициент линейного расширения α_l и удлинение нихромовой проволоки, если известно, что при повышении температуры от 20 до 1000°C электрическое сопротивление проволоки изменяется от 50 до 56,6 Ом. Длина проволоки в холодном состоянии $l=50$ м. Температурный коэффициент удельного сопротивления нихрома принять равным $15 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Решение:

Температурный коэффициент сопротивления проволоки:

$$\alpha_R = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} = \frac{56.6 - 50}{50(1000 - 20)} = 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}.$$

Тогда:

$$\alpha_l = \alpha_p - \alpha_R = (15 - 13.5) \cdot 10^{-5} = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}.$$

Отсюда:

$$\Delta l = l \alpha_l \Delta T = 50 \cdot 1.5 \cdot 10^{-5} \cdot 980 = 0.735 \text{ м.}$$

9. Определите, во сколько раз изменится удельная теплопроводность λ_T меди при изменении температуры ΔT от 20 до 200°C.

Решение:

Согласно закону Видемана — Франца,

$$\frac{\lambda_T}{\gamma} = L_0 T,$$

где γ — удельная проводимость; $L_0 = 2.45 \cdot 10^{-8} \text{ В}^2 \cdot \text{K}^{-2}$ — число Лоренца.

Отсюда следует, что:

$$\frac{\lambda_{T_1}}{\lambda_{T_2}} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} = \frac{(1 + a_p \Delta T) T_1}{T_2} = \frac{(1 + 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot 280) 293}{473} = 1.36.$$

10. Удельное сопротивление меди, содержащей 0,3 ат. % олова при температуре 300 К, составляет 0,0258 мкОм-м. Определите отношение β удельных сопротивлений меди при температурах 300 и 4,2 К: $\beta = p_{300}/p_{4.2}$.

Решение:

Согласно правилу Маттисена,

$$p = p_T + p_{ост},$$

где p_T — сопротивление, обусловленное рассеянием электронов на тепловых колебаниях решетки; $p_{ост}$ — остаточное сопротивление, связанное с рассеянием электронов на не-однородностях структуры.

Для чистой меди $p \approx p_T$. При $T = 300$ К, $p_T = 0,0168$ мкОм-м. Вблизи температуры абсолютного нуля полное сопротивление реального металлического проводника равно остаточному сопротивлению.

Отсюда следует, что:

$$\beta = \frac{p_{300}}{p_{4.2}} = \frac{p_{300}}{p_{ост}} = \frac{p_{300}}{p_{300} - p_T} = \frac{0.0258}{0.0258 - 0.0168} = 2.87.$$

11. Температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_{св}$ для олова в отсутствие магнитного поля равна 3,7 К, а критическая напряженность магнитного поля $H_{св}$ при температуре абсолютного нуля ($T = 0$ К) составляет $2,4 \cdot 10^4$ А/м. Рассчитайте максимально допустимое значение тока при температуре $T = 2$ К для провода диаметром $d = 1$ мм, изготовленного из сверхпроводящего олова. Определите для этой температуры диаметр провода, по которому может протекать ток 100А без разрушения сверхпроводящего состояния.

Решение:

Для сверхпроводников первого рода справедливо соотношение:

$$H_{CB}(T) = H_{CB}(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_{CB}} \right)^2 \right],$$

для олова

$$H_{CB}(2K) = 2,4 \cdot 10^4 [1 - (2,0/3,7)^2] = 1,7 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$$

Предельный ток ограничивается критической напряженностью магнитного поля на поверхности образца. Для цилиндрическо-го провода:

$$I_{CB} = \pi d H_{CB}(T) = 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 1,7 \cdot 10^4 = 53,4 \text{ А.}$$

Диаметр провода, по которому может протекать ток 100 А,

$$d_{100} = \frac{100}{3,14 \cdot 1,7 \cdot 10^4} = 1,87 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Таким образом, плотность предельного тока в сверхпроводниках первого рода уменьшается с увеличением диаметра провода; при этом предельный ток пропорционален диаметру провода, а не площади его поперечного сечения.

12. Определите напряженность электрического поля, возникающего в зазоре между пластинами плоского конденсатора, одна из которых изготовлена из алюминия, а другая из платины. Пластины соединены между собой медным проводом, а длина зазора $L = 5$ мм. Работа выхода электронов из алюминия, меди и платины составляет соответственно 4,25, 4,4 и 5,32 эВ. Как изменится напряженность поля, если алюминиевую и медную пластины закоротить проводом из платины при той же длине зазора?

Решение:

Разность потенциалов на концах последовательной разнородной цепи определяется различием в работах выхода электронов из крайних проводников и не зависит от числа и состава промежуточных звеньев. Поэтому в первом случае имеем:

$$E_1 = \frac{A_{A1} - A_{Pt}}{el} = \frac{4.25 - 5.32}{5 \cdot 10^{-3}} = -214 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

во втором:

$$E_2 = \frac{A_{A1} - A_{Cu}}{el} = \frac{4.25 - 4.4}{5 \cdot 10^{-3}} = -30 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

13. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при 20°C равно 35 Ом. Определите температуру нити лампочки, если известно, что при ее включении в сеть напряжением 220 В в установившемся режиме по нити проходит ток 0,6 А. Температурный коэффициент удельного сопротивления вольфрама при 20°C можно принять равным $5 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$.

Решение:

С учетом линейной зависимости сопротивления металлического проводника от температуры имеем:

$$R_2 = R_1[1 + a_R(T_2 - T_1)],$$

где R_1 , R_2 — сопротивления при комнатной температуре T_1 и при температуре T_2 соответственно.

Для вольфрама можно считать, что $a_R \approx a_p$. Сопротивление нити лампочки в рабочем режиме:

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{200}{0.6} = 366.7 \text{ Ом}.$$

Тогда:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 a_R} = \frac{366.7 - 35}{35 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 1895 \text{ К}.$$

Окончательно имеем:

$$T_2 = 1895 + 293 = 2188 \text{ К}.$$

14. Вычислите, во сколько раз сопротивление $R_{\sim}$ медного провода круглого сечения диаметром $d = 1$ мм на частоте $f = 10$ МГц больше сопротивления R_0 этого провода постоянному электрическому току.

Решение:

Глубина проникновения электромагнитного поля в проводник

$$\Delta = \sqrt{\rho / (\pi f \mu_0 \mu)},$$

где ρ — удельное сопротивление проводника; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная; μ — относительная магнитная проницаемость материала.

Поскольку медь диамагнитна, $\mu=1$. Тогда для меди на частоте 10 МГц:

$$\Delta = \frac{1}{2 \cdot 3.14} \sqrt{\frac{0.017 \cdot 10^{-6}}{10^7 \cdot 10^{-7}}} = 2.07 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Как видно, $\Delta \ll d$, а в случае сильно выраженного поверхностного эффекта коэффициент увеличения сопротивления провода круглого сечения:

$$K_R = \frac{R_{\sim}}{R_0} = \frac{d}{4\Delta} = \frac{10^{-3}}{4 \cdot 2.07 \cdot 10^{-5}} = 12$$

15. Кристалл арсенида индия легирован серой так, что избыточная концентрация доноров $N_d - N_a = 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Можно ли считать, что при температуре $T = 300^\circ\text{C}$ электрические параметры этого полупроводника близки параметрам собственного арсенида индия, если эффективные массы плотности состояний для электронов $m_c = 0.023m_0$, для дырок $m_u = 0.43m_0$, а ширина запрещенной зоны (эВ) InAs изменяется с температурой по закону $0,462 - 3,5 \cdot 10^{-4}T$.

Решение:

Ширина запрещенной зоны ΔW арсенида индия при температуре $T = 573 \text{ К}$ равна 0,26 эВ. Собственная концентрация носителей заряда при этой температуре:

$$n_i = 2 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} (m_c m_u)^{\frac{3}{4}} \exp \left(-\frac{\Delta W}{2kT} \right) =$$

$$= 2 \frac{(2\pi \cdot 1.38 \cdot 10^{-28} \cdot 573)^{\frac{3}{2}}}{(6.62 \cdot 10^{-34})^3} (0.023 \cdot 0.43)^{\frac{3}{4}} (9.1 \cdot 10^{-31})^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{0.26}{2 \cdot 8.625 \cdot 10^{-5} \cdot 573}\right) = 1.5 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}.$$

Отсюда следует, что при $T = 573 \text{ К}$, собственная концентрация носителей заряда $n_i \gg (N_d - N_a)$, т.е. полупроводник по свойствам близок собственному.

16. Вычислите положение уровня Ферми при $T = 300 \text{ К}$ в кристаллах германия, содержащих $2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ атомов мышьяка и 10^{22} м^{-3} атомов галлия.

Решение:

Так как $N_d > N_a$, то такой частично компенсированный полупроводник проявляет электропроводность n-типа.

При этом избыточная концентрация доноров:

$$N'_d = N_d - N_a.$$

При комнатной температуре все примеси ионизированы, поэтому $n \approx N'_d$;

Из выражения $n = N_c \exp[-(W_c - W_F)/kT]$ находим положение уровня Ферми относительно дна зоны проводимости:

$$W_c - W_F = kT \ln \frac{N_c}{N'_d} = 8.625 \cdot 10^{-5} \cdot 300 \ln \frac{1.02 \cdot 10^{25}}{10^{22}} = 0.179 \text{ эВ}.$$

17. Определить скорость оптической генерации g неравновесных носителей заряда в пластине кремния на глубине 100 мкм от освещаемой поверхности при фотовозбуждении монохроматическим излучением интенсивностью $I_0 = 10^{20} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, если показатель поглощения материала на длине волны излучения $\alpha = 5 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$, а коэффициент отражения излучения $R = 0,3$.

Решение:

Скорость оптической генерации, т. е. число носителей заряда, возбуждаемых светом в единицу времени в единице объема полупроводника, зависит от показателя поглощения и интенсивности излучения на заданной глубине x . Изменение интенсивности излучения подчиняется закону Бугера — Ламберта:

$$I(x) = I_0(1 - R)\exp(-ax).$$

Число квантов, поглощаемых в слое единичной площади толщиной dx , определяется выражением:

$$dl = I(x)adx$$

Скорость оптической генерации:

$$g(x) = \frac{dl}{dx} = aI_0(1 - R)\exp(-ax) = 5 \cdot 10^4 \cdot 10^{20} \cdot (1 - 0.3)\exp(-5 \cdot 10^4 \cdot 100 \cdot 10^{-6}) = 2.36 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}.$$

18. Определите избыточную концентрацию носителей заряда и эпитаксиальном слое кремния толщиной $L = 20$ мкм при оптическом возбуждении монохроматическим излучением с интенсивностью $I = 10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, если время жизни неравновесных носителей заряда $t = 10$ мкс, а показатель собственного поглощения кремния на длине волны излучения $a = 2000 \text{ м}^{-1}$. Квантовый выход внутреннего фотоэффекта принять равным единице.

Решение:

Так как $b \ll 1/a$, то скорость оптической генерации g практически постоянна по всему объему эпитаксиального слоя.

Избыточная концентрация носителей заряда в установившемся режиме:

$$\Delta n = tg = tnal = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 10^{21} = 2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

19. Прямоугольный образец полупроводника n -типа с размерами $a = 50$ мм, $b = 5$ мм и $\delta = 1$ мм помещен в магнитное поле с индукцией $B = 0,5$ Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Под действием напряжения $U_n = 0,42$ В, приложенного вдоль образца, по

нему протекает ток, $I_a = 20$ мА. Измерения показывают ЭДС Холла $U_H = 6,25$ мВ. Найти y – удельную проводимость, подвижность и концентрацию носителей заряда для этого полупроводника, полагая, что электропроводность обусловлена носителями только одного знака.

Решение:

Удельное сопротивление полупроводника:

$$\rho = \frac{U_a b \delta}{I_a a} = \frac{0,42 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-3}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Отсюда следует, что удельная проводимость $y = 1/\rho = 480$ См/м. Коэффициент Холла вычисляем по формуле:

$$R_H = \frac{U_H \delta}{I_a B} = \frac{6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5} = 6,25 \cdot \frac{10^{-4} \text{ м}^3}{\text{Кл}}.$$

Концентрация электронов:

$$n = (R_H e)^{-1} = (6,25 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})^{-1} = 10^{22} \text{ м}^{-3}.$$

Из выражения $y = e n u_n$ следует, что подвижность электронов

$$u_n = y R_H = 480 \cdot 6,25 \cdot 10^4 = 0,3 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с}).$$

20. Имеется германиевый р-п-переход с концентрацией примесей $N_d = 10^3$ На, причем на каждые 10^8 атомов германия приходится один атом акцепторной примеси. Определить контактную разность потенциалов при температуре $T = 300$ К. Концентрации атомов германия N и ионизированных атомов n_i принять равными $4,4 \cdot 10^{22}$ и $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

Решение:

Концентрация акцепторных атомов:

$$N_a = \frac{N}{10^8} = 4,4 \cdot \frac{10^{22}}{10^8} = 4,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}.$$

Концентрация атомов доноров:

$$N_d = 10^3 N_a = 4,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}.$$

Если примеси ионизированы, то контактная разность потенциалов:

$$\varphi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2} = 0.0258 \ln \frac{4.4 \cdot 10^{17} \cdot 4.4 \cdot 10^{14}}{(2.5 \cdot 10^{13})^2} = 0.326 \text{ В.}$$

21. Германиевый р-п-переход имеет обратный ток насыщения 1 мкА, а кремниевый переход таких же размеров — обратный ток насыщения 10^{-8} А. Вычислите и сравните прямые напряжения $U_{пр}$ на переходах при $T=293$ К и токе 100 мА.

Решение:

Ток через р-п-переход определим по формуле:

$$I = I_0 \left\{ \exp \left[\frac{eU_{np}}{kT} \right] - 1 \right\},$$

где I_0 — обратный ток насыщения. Для германиевого р-п-перехода можем записать:

$$100 \cdot 10^{-3} = 10^{-6} \exp \left[\frac{1.6 \cdot 10^{-19} U_{np}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293} \right],$$

откуда $U_{пр} = 288$ мВ. Аналогично для кремниевого р-п-перехода при $I_0 = 10^{-8}$ А получаем $U_{np} = 407$ мВ.

22. Обратный ток насыщения контакта металл — полупроводник с барьером Шотки $I_0 = 2$ мкА. Контакт соединён последовательно с резистором и источником постоянного напряжения $U_{ист}=0,2$ В. Определить сопротивление резистора R , если падение напряжения на нем $U_R = 0,1$ В. Контакт наладится при температуре $T=300$ К.

Решение:

Ток через барьер Шотки:

$$I = I_0 \left[e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right],$$

где U — прямое напряжение.

Поскольку падение напряжения на резисторе $U_R = 0,1$ В, напряжение на контакте $U = U_{ист} - U_R = 0,2 - 0,1 = 0,1$ В, Поэтому ток в цепи:

$$I = 2 \cdot 10^{-6} \left(\exp \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 0.1}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} - 1 \right) = 93 \cdot 10^{-6} \text{ А.}$$

Следовательно,

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0.1}{93 \cdot 10^{-6}} = 1.08 \text{ кОм.}$$

23. Вычислите поляризованность монокристалла каменной соли, считая, что смещение ионов под действием электрического поля от положения равновесия составляет 1% расстояния между ближайшими соседними ионами. Элементарная ячейка кристалла имеет форму куба, расстояние между соседними ионами $a = 0,28 \text{ нм}$.

Решение:

Поляризованность диэлектрика P численно равна отношению электрического момента dp элемента диэлектрика к объему dV этого диэлектрика:

$$P = \frac{dp}{dV}$$

Если выбрать $dV = a^3$:

$$dp = q\Delta x,$$

где q — заряд иона, равный заряду электрона; Δx — смещение ионов под действием поля. Тогда:

$$P = \frac{q\Delta x}{a^3} = \frac{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 2.8 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{-2}}{(0.28 \cdot 10^{-9})^3} \approx 0.02 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}.$$

24. Между пластинами плоского конденсатора без воздушных промежутков зажат лист гетинакса толщиной $h = 1 \text{ мм}$. На конденсатор подано напряжение $U = 200 \text{ В}$. Определите поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора σ_1 и на диэлектрике σ_d . Диэлектрическую проницаемость материала принять равной шести.

Решение:

Вследствие поляризации диэлектрика при подключенном источнике постоянного напряжения на пластинах конденсатора удерживается дополнительный заряд σ_d , так что:

$$\sigma_1 = \sigma_d + \sigma_0,$$

где $\sigma_0 = \varepsilon_0 E$ — поверхностная плотность заряда на пластинах конденсатора в отсутствие диэлектрика.

Тогда:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \varepsilon_0 \varepsilon E = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{U}{h} = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 200 / 10^{-3} \approx 10^{-5} \text{ Кл/м}^2; \\ \sigma_d &= P = \varepsilon_0 \varepsilon E - \varepsilon_0 E \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 200 / 10^{-3} \approx 8.85 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2.\end{aligned}$$

25. Спонтанная поляризованность монокристаллов титаната бария при комнатной температуре равна $0,25 \text{ Кл/м}^2$. Предполагая, что причиной возникновения спонтанной поляризации является только смещение иона титана из центра элементарной кубической ячейки, определите это смещение. Период идентичности а решетки принять равным $0,4 \text{ нм}$.

Решение:

Поляризованность есть электрический момент единицы объема:

$$P = q \Delta l / V_0,$$

где q — заряд иона; Δl — смещение; V_0 — объем элементарной ячейки.

Заряд иона титана:

$$Ti^{4+} \quad q = 4e; \quad V_0 = a^3.$$

Тогда:

$$\Delta l = \frac{P V_0}{q} = 2.5 \cdot 10^{-11} = 0.025 \text{ нм}$$

26. На пластину X-среза пьезоэлектрического кварца толщиной $h = 1 \text{ мм}$ вдоль оси X воздействует механическое напряжение $\sigma_1 = 10^5 \text{ Н/м}^2$. Определите разность потенциалов между противоположными плоскостями пластины, если в направлении оси X пьезомодуль продольного пьезоэффекта

$d_{11} = 2,3 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. Диэлектрическую проницаемость кварца принять равной 4,6.

Решение:

В соответствии с уравнением прямого пьезоэффекта

$$P_1 = d_{11}\sigma_1.$$

Для плоского однородного диэлектрика при равномерной механической нагрузке заряд на поверхности

$$Q = P \cdot S.$$

Разность потенциалов между плоскими гранями:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{d_{11}\sigma_1 S}{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S/h} = \frac{d_{11}\sigma_1 h}{\varepsilon_0 \varepsilon_1} = \frac{2,3 \cdot 10^{-12} \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4,5} = 5,77 \text{ В}.$$

27. При насыщении магнитная индукция чистого железа $B = 2,2$ Тл. Учитывая, что элементарная ячейка кристаллической решетки железа представляет собой объемно-центрированный куб с ребром $a = 0,286$ нм, рассчитайте магнитный момент, приходящийся на один атом железа (в магнетонах Бора).

Решение:

При магнитном насыщении ферромагнетиков

$$H \ll J_M.$$

Поэтому:

$$J_M \approx B/\mu_0.$$

Число атомов железа в единице объема

$$N = \frac{K}{a^3},$$

где K — кратность элементарной ячейки, т.е. число атомов, приходящихся на одну ячейку.

В случае объемно-центрированного куба $K = 2$, магнитный момент, приходящийся на один атом:

$$M = \frac{J_M}{\mu_B N} \approx \frac{Ba^3}{\mu_0 K \mu_B} = \frac{2,2 \cdot (0,286 \cdot 10^{-9})^3}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 9,274 \cdot 10^{-24}} = 2,21.$$

Полученный результат показывает, что в кристаллической решетке железа число нескомпенсированных спинов в расчете на один атом меньше, чем в свободном атоме железа, магнитный момент которого $M_{Fe} = 4\mu_B$.

28. Найдите индуктивность соленоида, имеющего 200 витков, намотанных на диэлектрическое основание длиной $l=50$ мм. Площадь поперечного сечения основания $S= 50$ мм². Как изменится индуктивность катушки, если в нее введен цилиндрический ферритовый сердечник, имеющий магнитную проницаемость $\mu = 400$, определенную с учетом размагничивающего действия воздушного зазора?

Решение:

Индуктивность соленоида, длина которого достаточно велика по сравнению с диаметром:

$$L_0 = \mu_0 \frac{n^2 S}{l} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (200)^2 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-3}} = 50.2 \text{ мкГн.}$$

При введении магнитного сердечника индуктивность катушки возрастает пропорционально магнитной проницаемости сердечника:

$$L_1 = \mu_0 \mu \frac{n^2}{l} = \mu \cdot 50.2 \cdot 10^{-6} = 400 \cdot 50.2 \cdot 10^{-6} = 20 \text{ мГн.}$$

29. Из металлической проволоки диаметром 0,5 мм намотан электронагревательный элемент мощностью 900 Вт, имеющий рабочее напряжение 220 В и рабочую температуру 1500°C. Длина проволоки элемента равна 80 метров. При температуре 20°C удельное сопротивление металла равно $r = 0,1$ мкОм×м, а его температурный коэффициент равенК-1. Температурным расширением провода пренебрегите.

Решение:

Выписываем данные в единицах системы СИ. Низшую температуру и все известные для нее параметры помечаем

индексом "1", а высшую температуру и соответствующие параметры — индексом "2".

Длина провода	$L = 80 \text{ м}$
Диаметр провода	$D = 0.5 \times 10^{-3} \text{ м}$
Рабочее напряжение	$U = 220 \text{ В}$
Низшая температура	$T_1 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Удельное сопротивление при температуре T_1	$R_1 = 0.1 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
Высшая температура	$T_2 = 1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Мощность, выделяемая при температуре T_2	$P_2 = 900 \text{ Вт}$

$$TK_{\rho} = TKR = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (T_2 - T_1)}.$$

В соответствии с поставленным условием, температурный коэффициент удельного сопротивления TK_{ρ} равен температурному коэффициенту сопротивления TKR . Сопротивление R_1 определим из известного соотношения:

$$R_1 = \rho_1 \cdot \frac{4L}{\pi \cdot D^2}.$$

Результат $R_1 = 40.744 \text{ Ом}$.

Сопротивление R_2 определим из выражения для мощности, которая соответствует температуре T_2

$$R_2 = \frac{U^2}{P_2}.$$

Результат $R_2 = 53.778 \text{ Ом}$.

При подстановке R_1 и R_2 в исходное выражение получим ответ $TKR = 2.162 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$.

30. Высокочастотная граница резистора, имеющего сопротивление 50 Ом , равна 8 МГц . Если паразитные емкости

пренебрежимо малы, то эквивалентная последовательная индуктивность его равна ... мкГн.

Решение:

Согласно условию, в высокочастотной схеме резистор описывается эквивалентной схемой в виде идеального резистора с последовательно подключенной индуктивностью (см. рисунок 6.1). В соответствии с определением, высокочастотной границей резистора называется частота, при которой модуль его комплексного сопротивления изменяется в $\sqrt{2}$ раз относительно сопротивления при постоянном напряжении на резисторе, то есть, относительно значения 50 Ом.

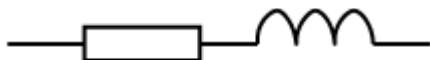


Рис. 6.1

Модуль комплексного сопротивления резистора с активным сопротивлением R и последовательно включенной индуктивностью L равен

$$\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

где ω - круговая частота напряжения. По условию его следует приравнять $\sqrt{2} \cdot R$, полагая, что ω соответствует граничной частоте. Из полученного равенства следует:

$$R = \omega \cdot L;$$
$$L = \frac{R}{(2\pi f_{\text{гр}})} = 9.94 \cdot 10^{-7} \text{ Гн.}$$

Однако, в задаче требуется дать ответ в микрогенри, поэтому правильным ответом будет число 0.994, которое так и следует ввести с клавиатуры.

Примечание. Если будет введено число 1, то и это не будет считаться ошибкой, поскольку относительное отклонение от точного ответа составит $|(1-0.994)/0.994|=0.006$, то есть 0.6%.

31. Плоскость пересекается с осями координат в точках:
 $x = k \cdot a$; $y = l \cdot a$; $z = m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки.
 Определите индексы Миллера этой плоскости.

№ вар.	k	l	m	ответ
1	1,5	3	2	(423)
2	2	2	2	(111)
3	4	1	3	(3124)
4	2	1	3	(362)
5	1	2	3	(632)

Решение вар. №1

Уравнение плоскости в отрезках куба:

$$\frac{x}{1.5} + \frac{y}{3} + \frac{z}{2} = 1.$$

Приводя к общему знаменателю, получим:

$$4x + 2y + 3z = 6$$

Следовательно, индексы Миллера (423).

32. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре.

№ вар	Материал	C_l , м/с	C_t , м/с	ρ , кг/м ³	E , ГПа	G , ГПа
1	Алюминий	5000	3000	3000	75	27
2	Железо	5200	3200	8000		
3	Латунь	3500	2000	9000	200	36
4	Оргстекло	2500	1000	1000	6,25	1
5	Резина	1000	30	1000	1	0,0009

Решение вар. №1

Скорость продольных C_l и поперечных C_t волн в твёрдых телах определяются по формулам:

$$C_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; C_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

отсюда следует

$$\begin{aligned} E &= C_l^2 \rho; G = C_t^2 \rho. \\ E &= 25 \cdot \frac{10^6 \text{ М}^2}{\text{с}^2} \cdot 3 \cdot \frac{10^3 \text{ кг}}{\text{М}^3} = 75 \cdot \frac{10^9 \text{ кг}}{\text{М}} \text{с}^2 = 75 \cdot \frac{10^9 \text{ Н}}{\text{М}^2} = \\ &= 75 \text{ ГПа} \\ G &= 9 \cdot 10^6 \text{ М}^2/\text{с}^2 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{М}^3 = 27 \text{ ГПа}. \end{aligned}$$

33. Определите коэффициент теплопроводности металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях.

№ вар	Металл	$\rho, 10^{-8}$ Ом*М	$\lambda, \text{Вт}/\text{М}^*\text{К}$
1	Алюминий	2,8	250
2	Медь	1,75	400
3	Железо	9,8	70
4	Олово	11,5	60
5	Свинец	22	32

Решение вар. №1

Из закона Видельмана – Франца следует:

$$\lambda_0 = L \cdot T,$$

где L-число Лоренца. Для большинства металлов:

$$L = 0.55 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Кал} \cdot \text{Ом}}{\text{с} \cdot \text{К}^2},$$

отсюда:

$$\lambda = \frac{LT}{\rho}.$$

$$\lambda = \frac{0.55 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Кал} \cdot \text{Ом}}{\text{с} \cdot \text{К}^2} \cdot 300\text{К}}{2,8 \cdot 10^{-8} \text{Ом} \cdot \text{м}} \approx 60 \frac{\text{Кал}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}} \approx 250 \frac{\text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К}}$$

$$= 250 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

34. При выполнении лабораторной работы по изучению теплового расширения твёрдых тел при нагреве на 20°C было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5$ см. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения.

№ вар	Материал	$\Delta L, \text{мкм}$	$\alpha, 10^{-6} \text{ К}^{-1}$	$\beta, 10^{-6} \text{ К}^{-1}$
1	Алюминий	24	24	70
2	Медь	16	17	50
3	Ковар	1	1	3
4	Стекло	5	5	15
5	Кварц	0,5	0,5	1,5

Решение вар. №1

$$\alpha = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta L}{L}; \beta \approx 3\alpha;$$

$$\alpha = \frac{24 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{20 \text{ К} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1};$$

$$\beta \approx 3 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1} \approx 70 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}.$$

35. Определить сопротивление нагревательных элементов при $t = 300^\circ\text{C}$. Элементы представляют собой проволочные спирали диаметром $D = 1$ см, диаметр провода $d = 0.5$ мм, число витков $n = 100$.

№ вар.	Материал	$\rho_0, 10^{-8}$ Ом·м	$\alpha_p, 10^{-3}$ К ⁻¹	R, Ом
1	Манганин	40	1	8
2	Изабелин	50	1	10,5
3	Константан	50	2	12,8
4	Нихром	100	10	640
5	Молибден	6	3	18

Решение вар. №1

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t); R_t = \rho_t \frac{l}{S};$$

$$l = \pi D n; S = \frac{\pi d^2}{4};$$

$$\begin{aligned} \rho_{300\text{ C}^0} &= 40 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} (1 + 10^{-3} \text{ град}^{-1} \cdot 300 \text{ C}^0) = \\ &= 52 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$l = 3.14 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 100 = 3.14 \text{ м};$$

$$S = \frac{3.14 \cdot 0.25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}{4} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2;$$

$$R_{300\text{ C}^0} = \frac{52 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 3.14 \text{ м}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2} \approx 8 \text{ Ом}.$$

36. В рамках квантовой теории электропроводности вычислить длину свободного пробега электронов в металлах при комнатной температуре при заданном удельном сопротивлении. Во всех случаях принять концентрацию свободных электронов $n = 8.45 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

№ вар.	Металл	$\rho, \text{ мкОм} \cdot \text{м}$	$\bar{l}, \text{ нм}$
1	Медь	0,017	39
2	Алюминий	0,03	22

3	Железо	0,1	6,5
4	Олово	0,12	5,5
5	Свинец	0,2	3,3

Решение вар. №1

В рамках квантовой теории выражение для удельной проводимости имеет вид:

$$\gamma = \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{e^2 n^{\frac{2}{3}} \bar{l}}{h},$$

где e – заряд электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

$\bar{l}$ – длина свободного пробега

h – постоянная Планка, $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$ Дж*с

$$\rho = \frac{1}{\gamma};$$

отсюда следует:

$$\bar{l} = \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{h}{e^2 n^{\frac{2}{3}} \rho};$$

$$\bar{l} = \left(\frac{3}{8 \cdot 3,14}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{6.62 \cdot 10^{-34}}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 (8.45 \cdot 10^{28})^{\frac{2}{3}} \cdot 0,017 \cdot 10^{-6}} \\ \approx 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ м} \approx 39 \text{ нм}.$$

37. При измерении равномерности магнитной индукции в зазоре магнитной системы динамика с помощью датчика Холла, ЭДС холла U_H менялась в зависимости от перемещения датчика L вдоль керна относительно верхнего фланца магнитной системы. Определите индукцию магнитного поля в контрольных точках. Датчик Холла представлял собой прямоугольную пластину полупроводника с размерами $a = 5$ мм;

$b = 3 \text{ мм}$, $\delta = 1 \text{ мм}$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости датчика. Под действием напряжения $U = 0.42 \text{ В}$, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток, $I_a = 20 \text{ мА}$. Постоянная датчика Холла $R_H = 6.25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$.

№ вар.	L, мм	U _н , мВ	B, Тл
1	10	6,25	0,5
2	20	6,5	0,52
3	30	6	0,48
4	40	6	0,48
5	50	5	0,4

Решение вар. №1

ЭДС Холла вычисляется по формуле:

$$U_H = \frac{R_H \cdot B \cdot I_a}{\delta},$$

отсюда:

$$B = \frac{U_H \cdot \delta}{R_H \cdot I_a};$$

$$B = \frac{6,25 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot 10^{-3} \text{ м}}{6,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 0,5 \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = 0,5 \text{ Тл}.$$

38. К пластине полупроводника длиной $L = 50 \text{ мм}$ приложено напряжения $U = 5 \text{ В}$. За какое время электрон пройдёт через весь образец при заданной подвижности электронов?

№ вар.	Полупроводник	$\mu_n, \text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	t, мс
1	Si	0.15	3.3
2	Ge	0.4	1.25
3	GaAs	0.9	0.55
4	GaP	0.015	33

5	InAs	3.5	0.14
---	------	-----	------

Решение вар. №1

Подвижность электрона определяется:

$$\mu_n = \frac{V}{E},$$

где V — скорость дрейфа электрона;

E — напряженность электрического поля.

$$V = \mu_n E; E = \frac{U}{l}; t = \frac{L}{V};$$

$$E = \frac{5 \text{ В}}{50 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 10^2 \frac{\text{В}}{\text{м}}; V = 0.15 \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}} \cdot \frac{10^2 \text{ В}}{\text{м}} = 15 \text{ м/с};$$

$$t = \frac{50 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{15 \text{ м/с}} \approx 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 3.3 \text{ мс}$$

39. Определите максимальную ширину запрещенной зоны ΔE полупроводникового фотодетектора, если он должен быть чувствительным к излучению с заданной длиной волны λ .

№ вар.	Полупроводник	λ , нм	ΔE , эВ
1	Ge	1800	0,7
2	GaAs	900	1,4
3	GaP	550	2,3
4	PbS	3250	0,4
5	CdS	500	2,5

Решение вар. №1

$$\Delta E = h\nu,$$

где h — постоянная планка, $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

V — частота излучения

$$V = \frac{c}{\lambda},$$

где c — скорость света;

$$\Delta E = h \cdot \frac{c}{\lambda};$$

$$\Delta E = \frac{6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1800 \cdot 10^{-9} \text{ м}} \approx 10^{-19} \approx 0,7 \text{ эВ}.$$

40. Определить емкости пленочных цилиндрических конденсаторов с различными диэлектриками. Конденсатор представляет собой свернутые слои алюминиевой фольги и диэлектрической пленки длиной $a = 1\text{ м}$, шириной $b = 5\text{ см}$ и толщиной $h = 0.25\text{ мм}$.

№ вар	Диэлектрик	ϵ	C , мкФ
1	Полипропилен	2,5	44
2	Полистирол	2,6	44,2
3	Лавсан	3	53
4	Поликарбонат	2,8	58
5	Фторопласт	2	35

Решение вар. №1

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{h},$$

где S — площадь обкладок;

h — расстояние между обкладками;

ϵ_0 — электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$;

$$S = a \cdot b.$$

$$C = \frac{8,8 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} \cdot 2,5 \cdot 1 \text{ м} \cdot 5 \cdot 10^2 \text{ м}}{0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}} \approx 440 \cdot 10^{-7} \Phi$$

$$\approx 44 \text{ мкФ.}$$

41. Оцените рабочие напряжения пленочных пусковых конденсаторов с различными типами и толщинами диэлектрических пленок h .

№ вар.	Диэлектрик	$E_{\text{пр}},$ мВ/м	h , мкм	U , В
1	Полипропилен	25	20	500
2	Бумага	10	20	200
3	Фторопласт	45	100	4500
4	Полистирол	30	30	900
5	Бакелит	50	100	5000
6	Лавсан	35	50	1750

Решение вар. №1

Электрическая прочность равна:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U}{h},$$

Отсюда:

$$U = E_{\text{пр}} \cdot h;$$

$$U = 25 \cdot 10^6 \text{ В/м} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 500 \text{ В.}$$

42. На пластину пьезодатчика размерами 10×10 мм толщиной $h = 1$ мм в направлении поляризации приложено механическое напряжение $\sigma = 10^5 \text{ Н/м}^2$. Определите разность потенциалов на поверхностях пластины при заданных пьезомодулях.

№ вар.	Материал пьезодатчика	ϵ	d , Кл/Н	U , В
1	Кварц	10	$2,3 \cdot 10^{-12}$	2,7

2	LiNbO ₃	80	$50 \cdot 10^{-12}$	
3	KNbO ₃	50	$20 \cdot 10^{-12}$	
4	BaTiO ₃	3000	$400 \cdot 10^{-12}$	
5	ЦТС-22	250	$500 \cdot 10^{-12}$	

Решение вар. №1

В соответствии с прямым пьезоэффектом:

$$P = d\sigma,$$

где P — поляризованность

Для плоского однородного диэлектрика

$$Q = P \cdot S,$$

где Q — заряд; S — площадь;

$$U = \frac{Q}{C},$$

где C — ёмкость.

$$U = \frac{d \cdot \sigma \cdot S}{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \frac{S}{h}} = \frac{d \cdot \sigma \cdot h}{\epsilon_0 \cdot \epsilon} = \frac{2,3 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{Н}} \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{М}^2} \cdot 10^{-3} \text{м}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10} \approx 2,7 \text{ В}.$$

43. От аккумулятора $U = 12 \text{ В}$ в воздухе проведена двухпроводная параллельная линия передачи к электрической лампочке с сопротивлением нити накаливания $R_n = 10 \text{ Ом}$. Длина линии $l = 100 \text{ м}$, диаметр проводов $d = 1 \text{ мм}$, расстояние между проводами $a = 20 \text{ см}$. Будут ли взаимодействовать провода линии, куда будет направлена сила взаимодействия, чему она равна?

№ вар.	Материал проводов	$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	F, Н
-----------	----------------------	---	------

1	Медь	1,75	$0,4 \cdot 10^{-4}$
2	Алюминий	3	
3	Железо	10	
4	Латунь	5	
5	Молибден	6	

Решение вар.№1

$$F = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a},$$

где μ — магнитная проницаемость среды;

μ_0 — магнитная постоянная; $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м;

l — длина проводов;

I_1, I_2 — сила тока в них.

$$I_1 = I_2 = U/R; R = R_{\text{л}} + R_{\text{н}}$$

— общее сопротивление линии и нагрузки.

$$R_{\text{л}} = \rho \cdot \frac{2l}{S},$$

S — площадь поперечного сечения проводов.

$$R_{\text{л}} = \frac{1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 200 \text{ м}}{0,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} \approx 90 \text{ Ом}.$$

$$R = 190 \text{ Ом}.$$

$$I_1 = I_2 = \frac{12 \text{ В}}{190 \text{ м}} = 0,63 \text{ А}.$$

$$F = \frac{1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot (0,63 \text{ А})^2 \cdot 100 \text{ м}}{2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$$

44. При определении полярности подключения динамического громкоговорителя на него было подано постоянное напряжение $U = 5 \text{ В}$. Определите смещение ΔL излучающей

диафрагмы, жестко связанной с катушкой, которая перемещается в зазоре магнитной системы при заданном значении магнитной индукции B . Катушка намотана на каркас диаметром $D = 2$ см медным проводом диаметром $d = 0,2$ мм и содержит $n = 200$ витков. Диафрагма подвешена на гибком подвесе из пенополиуретана длиной $L = 15$ мм, площадью поперечного сечения $S = 10^{-4} \text{ м}^2$, модулем Юнга $E = 10^6$ Па. $\rho_{\text{меди}} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

№ вар.	Магнит	B , Тл	ΔL , мм
1	Феррит-барий 1	1	1,5
2	Феррит-барий 2	0,8	1,2
3	Феррит- стронция	2	3
4	Самарий- кобальт	3	4,5
5	Неодим- железо-бор	5	7,5

Решение вар.№1

Сила F , действующая на диафрагму со стороны звуковой катушки:

$$F = B \cdot l \cdot I,$$

где l — длина проводника в катушке;
 I — сила тока.

$$I = \frac{U}{R},$$

где R — сопротивление постоянному току.

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление провода катушки;
 l — его длина;

s — площадь поперечного сечения.

$$l = \pi D = 3.14 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \approx 12,5 \text{ м}.$$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot (0.2 \cdot 10^{-3})^2}{4} \approx 3.1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2.$$

$$R = \frac{1.75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 12,5 \text{ м}}{3.1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2} = 7 \text{ Ом}.$$

$$I = \frac{5 \text{ В}}{7 \text{ Ом}} \approx 0,7 \text{ А}.$$

$$F = 1 \text{ Тл} \cdot 12,5 \text{ м} \cdot 0,7 \text{ А} \approx 10 \text{ Н}.$$

Механическое напряжение σ в подвесе:

$$\sigma = \frac{F}{S}.$$

Закон Гука:

$$\sigma = E \cdot \epsilon,$$

где $\epsilon = \Delta L/L$ — относительная деформация; отсюда:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}; \Delta L = L \cdot \epsilon.$$

$$\sigma = \frac{10 \text{ Н}}{10^{-4} \text{ м}^2} = 10^5 \text{ Па}; \epsilon = \frac{10^5 \text{ Па}}{10^6 \text{ Па}} = 0,1.$$

$$\Delta L = 15 \text{ мм} \cdot 0,1 = 1,5 \text{ мм}.$$

45. При расчете разделительного фильтра акустической системы было получено значение индуктивности $L = 5 \text{ мГн}$. Определите число витков катушки n при использовании стандартного каркаса длиной $l = 50 \text{ мм}$, площадью поперечного сечения каркаса $s = 50 \text{ мм}^2$ и цилиндрических ферритовых сердечников внутри каркаса различного типа.

№ вар.	Марка феррита	μ	N
1	400НН	400	100
2	1000НМ	1000	65
3	600НН	600	82
4	200НН	200	142
5	100НН	100	200

Решение вар.№1

Индуктивность катушки с сердечником, длина которой достаточно велика по сравнению с диаметром:

$$L = \mu_0 \cdot \mu \frac{n^2 S}{l},$$

где $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$;

μ — магнитная проницаемость сердечника, отсюда:

$$n = \sqrt{\frac{L \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu \cdot S}};$$

$$n = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 400 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2}} \approx 100.$$

46. Определите контактную разность потенциалов р-п-перехода, сформированного в различных полупроводниках при комнатной температуре при заданных концентрациях акцепторных Na, донорных атомов Ng и собственных носителей ni.

№ вар.	Полупроводник	Na, см^{-3}	Ng, см^{-3}	ni, см^{-3}	$\Phi_k, \text{В}$
1	Si	10^{16}	10^{18}	10^{13}	0.48
2	Ge	10^{16}	10^{17}	10^{12}	0.53
3	InP	10^{17}	10^{17}	10^{13}	0.48
4	GaAs	10^{17}	10^{18}	10^{11}	0.78

5	CdS	10^{16}	10^{16}	10^{12}	0.48
---	-----	-----------	-----------	-----------	------

Решение вар. №1

$$\phi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{NaNg}{ni^2},$$

где k — постоянная Больцмана, $k = 1.4 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
 e — заряд электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$\phi_k = \frac{1.4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \ln \frac{10^{16} \text{ см}^{-3} \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}}{(10^{13} \text{ см}^{-3})^2} = 0,46 \text{ В.}$$

47. Для кремниевого варикапа с не симметричным р-п-переходом $Na = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $Ng = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и $ni = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ определите барьерную емкость C_b перехода при различных обратных напряжениях $U_{обр}$ и добротность Q на частоте $f = 10$ МГц и активном сопротивлении $R = 1$ Ом, площадь перехода $S = 1 \text{ мм}^2$. Температура комнатная.

№ вар.	$U_{обр}$, В	C_b , пФ	Q
1	0	5500	27
2	-1	3200	46
3	-2	2500	60
4	-3	2100	68
5	-5	1700	86

Решение вар. №1

$$C_{бар} = S \sqrt{\frac{e \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot Na}{2(\phi_k - U_{обр})}},$$

где e — заряд электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

ε — диэлектрическая проницаемость кремния $\varepsilon = 12$;

$$\varepsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

Φ_k — контактная разность потенциалов;

$$\Phi_k = \frac{kT}{e} \ln \frac{NaNg}{ni^2},$$

где T — температура;

k — постоянная Больцмана, $k = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$

$$Q = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{бар} \cdot R};$$

$$\begin{aligned} \Phi_k &= \frac{1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \ln \frac{10^{16} \text{ см}^{-3} \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}}{(10^{13} \text{ см}^{-3})^2} \\ &= 0,48 \text{ В.} \end{aligned}$$

$$C_{бар} = 10^{-6} \text{ м}^2 \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 12 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot 16 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}}{2 \cdot 0,48 \text{ В}}}$$

$$C_{бар} = 55 \cdot 10^{-10} = 5500 \text{ пФ.}$$

$$Q = \frac{1}{6,28 \cdot 10^7 \text{ Гц} \cdot 55 \cdot 10^{-10} \cdot 1 \text{ Ом}} = 27.$$

48. В составе ГИС находится тонкопленочный резистор длиной $l = 500 \text{ мкм}$ и шириной $b = 50 \text{ мкм}$, падение напряжения на резисторе $U = 20 \text{ В}$. Оптимальный температурный режим работы ГИС предполагает максимальную мощность рассеивания на резисторе $P = 2 \text{ Вт}$. Определите толщину h напыленной на подложку плёнки резистора из различных резистивных материалов.

№ вар.	Материал	$\rho, 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$h, \text{ мкм}$
1	Кермет	6	3

2	Карбид хрома	20	10
3	Силицид титана	10	5
4	Нитрид хрома	5	2,5
5	Борид циркония	2	1

Решение вар. №1

Сопротивление резистора:

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{\rho \cdot l}{B \cdot h},$$

где ρ — удельное сопротивление;

$$h = \frac{\rho \cdot l}{R \cdot b};$$

$$P = \frac{U^2}{R};$$

$$R = \frac{U^2}{P};$$

отсюда:

$$h = \frac{\rho \cdot l \cdot P}{U^2 b};$$

$$h = \frac{6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ м} \cdot 2 \text{ Вт}}{400 \text{ В}^2 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 3 \text{ мкм}.$$

49. Определите напряжения туннельного и лавинного пробоя кремниевого диода при комнатной температуре с несимметричным р-п-переходом $N_a > N_d$, при заданных концентрация носителей заряда в р- и п-областях. $E_{кр} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ В/м}$, $E_{si}=12$, $\mu_n = 1400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

№ вар.	$N_a, \text{ см}^{-3}$	$N_g, \text{ см}^{-3}$	$U_{\text{тук}}, \text{ В}$	$U_{\text{л.}}, \text{ В}$
-----------	------------------------	------------------------	-----------------------------	----------------------------

1	10^{19}	10^{14}	750	103
2	10^{19}	10^{16}	7,5	
3	10^{19}	10^{20}	$7,5 \cdot 10^{-4}$	
4	10^{19}	10^{15}	75	
5	10^{19}	10^{17}	0,75	

Решение вар. №1

$$U_{\text{тук}} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E_{\text{кр}}^2}{2 \cdot e \cdot N_g};$$

$$U_{\text{тук}} = \frac{12 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 2,25 \cdot 10^{14} \text{ В}^2/\text{м}^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}} = 750 \text{ В.}$$

$$U_{\text{л}} = 86 \rho_{\text{б}}^{0,65},$$

где $\rho_{\text{б}}$ — удельное сопротивление базы диода, в этом случае-п-области:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{1}{\sigma_{\text{п}}} = \frac{1}{e N_g \cdot \mu_{\text{п}}};$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3} \cdot 14 \cdot \frac{10^2 \text{ см}^2}{\text{В}} \cdot \text{с}} = 44 \text{ Ом} \cdot \text{см.}$$

$$U_{\text{л}} = 86 \cdot 44^{0,65} = 103 \text{ В.}$$

50. В схеме на рис. 6.2 стабилизации напряжения на нагрузке определите сопротивление нагрузки и мощности выделяемой на ней при использовании разных стабилитронов.

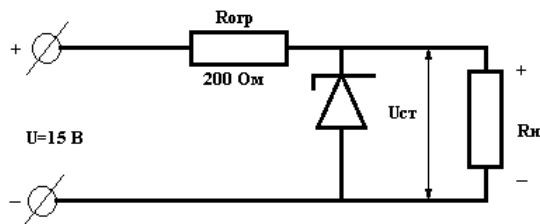


Рис 6.2

№ вар.	U _{ст} , В	I _{ст} , мА	R _н , Ом	P, Вт
1	12	10	1200	0,06
2	9	7	400	0,2
3	6	5	150	0,24
4	4	5	80	0,2
5	2	2	17	0,12

Решение вар. №1

$$R_{\text{орг}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст}} - I_{\text{н}}}; I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{ст}}}{R_{\text{орг}}} - I_{\text{ст}};$$

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{ст}}}{I_{\text{н}}};$$

$$P = U_{\text{ст}} \cdot I_{\text{н}};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{15 \text{ В} - 12 \text{ В}}{2000 \text{ Ом}} - 10 \text{ мА} = 5 \text{ мА};$$

$$R_{\text{н}} = \frac{12 \text{ В}}{10 \text{ мА}} = 1,2 \text{ кОм}.$$

$$P = 12 \text{ В} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 0,06 \text{ Вт}.$$

51. На пластину GaAs определенной толщины h подано заданное постоянное напряжение U . Определите частоту электрических колебаний при $\mu = 3000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

№ вар.	U, В	h, мкм	f, ГГц
1	3	10	9
2	10	30	3,3
3	20	20	15

4	50	10	150
5	100	100	3

Решение вар. №1

$$f = \frac{v_{др}}{h},$$

где $v_{др}$ — скорость дрейфа электронов.

$$U_{др} = \mu E,$$

где E — напряжённость электрического поля.

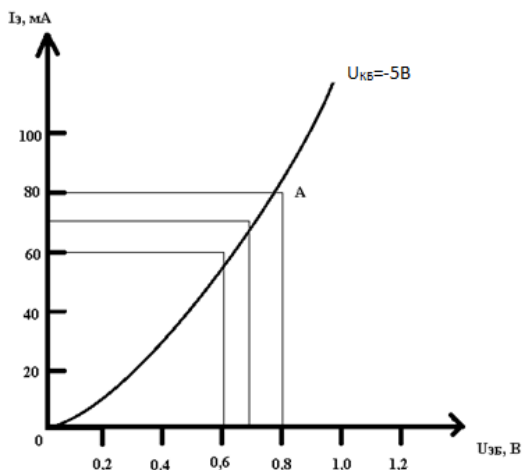
$$E = \frac{U}{h};$$

$$E = \frac{3В}{10 \cdot 10^{-6}м} = 3 \cdot 10^5 В/м.$$

$$U_{др} = 0.3 м^2/В \cdot с \cdot 3 \cdot 10^5 В/м = 0,9 \cdot 10^5 м/с.$$

$$f = \frac{0,9 \cdot 10^5 м/с}{10 \cdot 10^{-6}м} = 0.09 \cdot 10^{11} Гц = 9 ГГц.$$

52. На рис. 6.3 приведена входная характеристика биполярного р-п-р транзистора в схеме с ОБ. Определите: I_K , I_B , K_U , K_P



при заданных α и R_H . Рабочую точку взять при $I_k = 70 \text{ мА}$, $U_{ЭБ} = 0.7 \text{ В}$.

Рис. 6.3

№ вар.	α	$R_H, \text{кОм}$	$I_k, \text{мА}$	$I_B, \text{мА}$	K_U	K_P
1	0.98	1	68.6	1.4	98	96
2	0.985	5				
3	0.99	10				
4	0.992	20				
5	0.995	50				

Решение вар. №1

$$\alpha = \frac{I_k}{I_3}; \quad I_k = \alpha I_3; \quad I_B = I_3 - I_k;$$

$$K_U = \frac{\alpha R_H}{r_3},$$

где r_3 - дифференциальное сопротивление перехода эмиттер-база.

$$r_3 = \frac{dU_3}{dI_3}; \quad K_P = \frac{\alpha^2 R_H}{r_3} \cdot K_U = \frac{\alpha R_H}{r_3}.$$

Выбираем рабочую точку на характеристике,

$$I_3 = 70 \text{ мА}; \quad r_3 = \frac{0,2 \text{ В}}{20 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 10 \text{ Ом};$$

$$I_k = 0.98 \cdot 70 \text{ мА} = 68,6 \text{ мА}; \quad I_B = 70 \text{ мА} - 68,6 \text{ мА} = 1,4 \text{ мА};$$

$$K_U = \frac{0.98 \cdot 10^3 \text{ Ом}}{10 \text{ Ом}} = 98;$$

$$K_P = \frac{(0,98)^2 \cdot 10^3 \text{ Ом}}{10 \text{ Ом}} = 96.$$

53. На рис. 6.4 приведена входная характеристика биполярного п-р-п транзистора КТ819 в схеме с ОЭ. Определите: B , I_K , $I_Э$, K_U , K_P при заданных α и R_H . Рабочую точку взять при $I_B = 800 \text{ мА}$, $U_{БЭ} = 0.9 \text{ В}$.

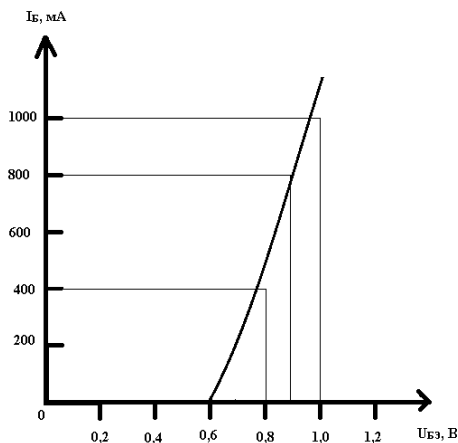


Рис. 6.4

№ вар.	α	R_H , кОм	I_K , А	I_B , А	K_U	K_P
1	0.98	1	4	4,08	50	4500
2	0.985	5				
3	0.99	10				
4	0.992	20				
5	0.995	50				

Решение вар. №1

$$B = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)}; I_K = B I_B; I_Э = I_K + I_B;$$

$$K_U = \frac{\alpha R_H}{R_{BX}}; R_{BX} = \frac{U_{BX}}{I_B}; K_P = B \cdot K_U;$$

$$B = \frac{0,98}{(1 - 0,98)} \approx 50.$$

$$I_k = 50 \cdot 80 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 4 \text{ A}.$$

$$I_3 = 4 \text{ A} + 0,08 \text{ A} = 4,08 \text{ A}.$$

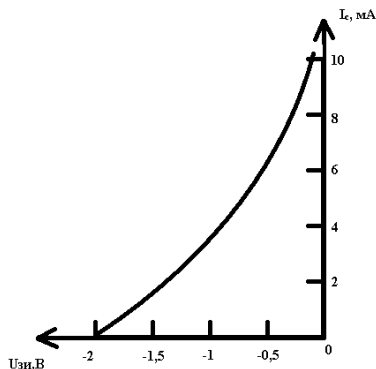
$$R_{BX} = \frac{0,9 \text{ В}}{80 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 11 \text{ Ом};$$

$$K_U = \frac{0,98 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}}{11 \text{ Ом}} = 90.$$

$$K_P = 50 \cdot 90 = 4500.$$

54. На рис. 6.5 представлена стокозатворная характеристика полевого транзистора с управляющим р-п-переходом КП302 с параметрами хода $N_g = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3} = n_i = 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Определите ширину р-п-перехода транзисторов d при комнатной температуре. $\varepsilon = 12$.

№ вар.	N_a , см^{-3}	N_g , см^{-3}	n_i , см^{-3}	$U_{отс.}$, В	d , мкм
1	10^{15}	10^{18}	10^{12}	-2	1,8



2	10^{14}	10^{17}	10^{12}	-,15	
3	10^{13}	10^{15}	10^{11}	-3	
4	10^{14}	10^{15}	10^{13}	-2	
5	10^{15}	10^{15}	10^{13}	-2,5	

Рис. 6.5

Решение вар. №1

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0(U_K - U_{отс})}{eNg}},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость Si;

ε_0 — диэлектрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$;

φ_K — контактная разность потенциалов перехода;

$U_{отс}$ — напряжение отсечки.

e — заряд электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

$$\varphi_K = \frac{kT}{e} \ln \frac{NaNg}{ni^2},$$

где k - постоянная Больцмана, $k = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

$$\varphi_K = \frac{1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \ln \frac{10^{15} \text{ см}^{-3} \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}}{(10^{12} \text{ см}^{-3})^2} = 0,53 \text{ В}.$$

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 2,53 \text{ В}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{21}}} = 18 \cdot 10^{-7} \text{ м} \approx 1,8 \text{ мкм}.$$

55. Определите $U_{пор}$ и толщину канала Z МДП- транзистора с индуцированным каналом п-типа при комнатной температуре при заданных концентрациях примеси и собственных носителей в подложке N_a и n_i , $\varepsilon_{п} = 12$.

№ вар.	$N_a, \text{ см}^{-3}$	$n_i, \text{ см}^{-3}$	$U_{пор}, \text{ В}$	$Z, \text{ нм}$
1	10^{15}	10^{10}	0,58	880

2	10^{16}	10^{10}	0,75	310
3	10^{17}	10^{10}	0,85	104
4	10^{18}	10^{10}	0,95	36
5	10^{20}	10^{10}	1,2	4

Решение вар. №1

$$U_{\text{пор}} = 2 \frac{kT}{e} \ln \frac{Na}{ni},$$

где k — постоянная Больцмана, $k = 1.4 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T — абсолютная температура;

e — заряд электрона, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$$Z = \sqrt{\frac{2\epsilon_n \epsilon_0 U_{\text{пор}}}{eNg}},$$

где ϵ_n — диэлектрическая проницаемость подложки

ϵ_0 — диэлектрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$$U_{\text{пор}} = 2 \frac{1.4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \ln \frac{10^{15} \text{ см}^{-3}}{10^{10} \text{ см}^{-3}} \approx 0,58 \text{ В.}$$

$$Z = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 0,58 \text{ В}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}}} = 880 \text{ нм.}$$

56. Вычислите предельные частоты усиления f_α и f_β для биполярных п-р-п и р-п-р транзисторов в схемах с ОБ и ОЭ, при заданных толщинах базы W , коэффициент диффузии электронов в базу $D_n = 6.3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, дырок $D_p = 3.1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, $\alpha = 0,99$.

№ вар.	Тип транзистора	W, мкм	f_α , МГц	f_β , МГц
1	п-р-п	0,5	800	8
2	р-п-р	1	100	1
3	п-р-п	2	50	0,5
4	р-п-р	2	25	0,25
5	п-р-п	1	200	2

Решение вар. №1

$$f_\alpha = D/\pi W^2; f_\beta = f_\alpha/(\beta + 1); \beta = \alpha/(1 - \alpha);$$

$$f_\alpha = \frac{6.3 \cdot \frac{10^{-4} \text{ м}^2}{\text{с}}}{3,14 \cdot 0,25 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2} = 8 \cdot 10^8 \text{ Гц} = 800 \text{ МГц}.$$

$$\beta = \frac{0,99}{1 - 0,99} = 99; f_\beta = \frac{800 \text{ МГц}}{100} = 8 \text{ МГц}.$$

6.2 Задачи для самостоятельного решения

1. Конденсаторная керамика при 20°C имеет проводимость $g^\circ = 10^{-13}$ Сим/см. Какова проводимость g_t при заданной температуре, если $a = 0,8$?

Рекомендации:

Зависимость объемного удельного сопротивления твердых диэлектриков от температуры выражается формулой :

$$\rho = B \cdot e^{\frac{b}{T}}.$$

Или

$$\rho_t = \rho_0 \cdot e^{-\alpha t},$$

где B и b — коэффициенты для данного материала;
 γ_0 — удельное сопротивление при 0°C
 α — температурный коэффициент.

№ вар.	T°, C
1	100
2	125
3	150
4	175
5	200
6	225
7	250
8	275
9	300
10	325

2. Определите допустимое напряжение $U_{\text{доп}}$ между электродами на рабочей частоте f , если температура, до которой нагревается в электрическом поле пластина из диэлектрического материала толщиной h не превышает T° .

Рекомендации:

В диэлектриках, имеющих $\epsilon < 10$, преобладающими являются потери сквозной электропроводности. Поэтому при экспоненциальной зависимости

$$\operatorname{tg} d(T) = \operatorname{tg} \delta_0 e^{(\alpha_{\operatorname{tg} \delta} (T - T_0))},$$

где $\alpha_{\operatorname{tg} \delta}$ — температурный коэффициент $\operatorname{tg} d$;
 T_0 — температура окружающей среды (полагать $T_0 = 293 \text{ K}$), мощность, выделяемая в диэлектрике, рассчитывается по формуле:

$$P_a = U^2 \cdot w \cdot C \cdot \operatorname{tg} d(T^\circ),$$

а мощность, отводимая от диэлектрика, выражается формулой:

$$P_m = 2 \cdot s \cdot S(T - T_0),$$

где s — суммарный коэффициент теплопередачи от диэлектрика во внешнюю среду;

S — площадь поверхности диэлектрика.

№ вар.	Материал	f, кГц	h, мм	T°, С	tg d	a tg d, 1/К
1	Гетинакс	10	2	50	0,04, 0,08	0,09
2	Картон электроизол.	100	0,5	30	$(3-5) \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$
3	Фторпласт	1000	0,06	40	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$
4	Бумага кабельная	10	0,07	55	$(3-5) \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$
5	Полиэтилен	100	0,11	35	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	$8,66 \cdot 10^{-3}$
6	Лавсан	1000	0,11	45	$(3-10) \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
7	Стекло- тектолит	10	1	60	0,02, 0,04	0,02
8	Бакелит	10	0,2	70	0,01	0,05
9	Фторпласт	1000	0,04	65	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$
10	Бумага	10	0,1	75	$(3-5) \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$

3. Как изменится электрическая прочность воздуха при нормальном давлении, если расстояние между электродами уменьшить от h_1 до h_2 ?

Рекомендации:

Известно, что электрическая прочность диэлектриков обратно пропорциональна их толщине:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h},$$

где $U_{\text{пр}}$ – пробивное напряжение, кВ;
 H – толщина диэлектрика, мм.

Т.к. с увеличением толщины увеличивается неоднородность структуры, возрастает количество слабых мест.

№ вар.	h_1 , см	h_2 , см
1	1	0,1
2	1	0,01
3	1	0,001
4	0,5	0,1
5	0,5	0,01
6	0,5	0,001
7	10	1
8	10	0,01
9	10	0,1
10	5	0,001

4. Определите падение напряжения в линии электропередач длиной L при температуре T°_1 , T°_2 , T°_3 , если провод имеет сечение S и по нему течет ток I .

№ вар.	Материал	T°_1 , С	T°_2 , С	T°_3 , С	L , км	S , мм ²	I , А
1	Al	-50	+20	+50	50	10	80
2	Cu	-30	0	+30	500	300	2500
3	Cu	-30	+25	+50	500	250	2000
4	Al	-40	+10	+60	200	100	800
5	Al	-50	+20	+50	200	50	400
6	Cu	-30	0	+30	500	150	1200
7	Cu	-30	+25	+50	200	75	600
8	Al	-40	+20	+60	200	100	800
9	Al	-50	+25	+60	100	25	200
10	Cu	-40	0	+40	50	10	80

5. Определите длину проволоки для намотки проволочного резистора с номиналом R и мощностью рассеяния P .

№ вар.	Материал	R , Ом	P , Вт
1	Манганин	100	100
2	X20H80	2000	5
3	X15H60	2000	5
4	Константан	200	100
5	X20H80	100	100
6	Манганин	2000	5
7	X20H80	1000	10
8	X15H60	1000	10
9	Константан	1000	10
10	Манганин	200	100

6. Один из магнитных сплавов имеет следующие параметры: поле старта H_0 , коэрцитивную силу H_c , коэффициент переключения S_Φ . Найдите время переключения t .

Рекомендации:

Напряженность поля старта H_0 представляет собой минимальное значение напряженности поля, необходимого для перехода из одного состояния в другое, например, от $-B_r$ к $+B_r$. Величина H_0 несколько больше коэрцитивной силы H_c :

$$H_0 = (1.2 - 1.4)H_c.$$

Время переключения t – это время, необходимое для указанного перехода. Время t может составлять от долей до нескольких микросекунд. Если откладывать $1/t$ как функцию напряженности поля H , то получается зависимость, близкая к прямой. Продолжая эту прямую до пересечения с осью абсцисс, получают значения поля старта H_0 . Коэффициент переключения S_Φ равен произведению:

$$S_\Phi = t(H_m - H_0).$$

№ вар.	H_0 , А/м	H_c , А/м	S_ϕ , мкк/м
1	5	3	14
2	6	4	16
3	7	5	18
4	8	6	20
5	9	7	22
6	10	8	24
7	11	9	26
8	12	10	28
9	13	11	30
10	14	12	32

7. Магнитодиэлектрик выполнен из порошков никелево-цинкового феррита НА400 и полистирола с объемным содержанием магнитного материала а. Определите m и e , если e_m имеет следующие значения:

№ вар.	а	e_m
1	0,1	40
2	0,2	20
3	0,3	60
4	0,4	35
5	0,5	50
6	0,4	25
7	0,3	45
8	0,2	30
9	0,1	65
10	0,5	55

Рекомендации:

Магнитную проницаемость m магнитодиэлектрика можно определить, зная объемное содержание магнитного материала а:

$$m = m_a^a.$$

Диэлектрическая проницаемость магнитодиэлектрика ϵ определяется на основании значений ϵ_m и ϵ_d — диэлектрической проницаемости магнитного материала и связующего вещества:

$$\epsilon = \epsilon_m^a \cdot \epsilon_d^{1-a} - a.$$

8. Определите концентрацию электронов и дырок в собственном полупроводнике и в полупроводниковом кристалле, содержащем N атомов примеси.

№ вар.	Полупроводник материал	Примесь	N, см ⁻³
1	Si	Сурьма	10^{17}
2	Ge	Бор	$2 \cdot 10^{14}$
3	Si	Фосфор	10^{23}
4	Ge	Алюминий	$2 \cdot 10^{15}$
5	Si	Бор	$2,5 \cdot 10^{22}$
6	Ge	Фосфор	10^{18}
7	Si	Алюминий	10^{16}
8	Ge	Сурьма	$4,5 \cdot 10^{20}$
9	Si	Бор	$3 \cdot 10^{15}$
10	Ge	Фосфор	$2 \cdot 10^{18}$

9. Образец полупроводникового материала легирован при-месью (см. предыдущую задачу). Определите удельную проводимость этого образца и удельную проводимость собственного полупроводникового материала при T°.

№ вар.	T°, K
1	290
2	300
3	310
4	320

5	330
6	290
7	300
8	310
9	320
10	330

10. Определите длину диффузионного смещения основных носителей заряда в полупроводниковом материале при T° , если время их жизни t .

№ вар.	Материал	T°, K	$t, \text{мкс}$
1	Si - n - min	290	100
2	Ge - n - min	300	50
3	Si - p - min	310	75
4	Ge - p - min	320	120
5	Si - n - min	330	200
6	Ge - n - min	290	250
7	Si - p - min	300	125
8	Ge - p - min	310	80
6	Si - n - min	320	175
10	Ge - n - min	330	50

11. Имеется плоский конденсатор с металлическими обкладками площадью S , расположенными на расстоянии d друг от друга и разделенными материалом с диэлектрической проницаемостью ϵ . Разность потенциалов между обкладками U . Определите:

- заряд конденсатора;
- емкость;
- удельную емкость;
- напряженность электрического поля в диэлектрике;
- энергию, запасенную в конденсаторе;

- плотность энергии, запасенной в конденсаторе.

№ вар.	Материал диэлектрика	Диэлектрическая проницаемость	Разность потенциалов, В
1	Полиэтилен	2,3	12
2	Полистирол	2,5	50
3	Фторопласт-4	2	220
4	Гетинакс	6	80
5	Слюда	5	380
6	Текстолит	7	60
7	Фарфор электротехнический	6,5	36
8	Радиофарфор	6	18
9	Бумага конденсаторная	4	110
10	Оксид алюминия	10	5

№ вар.	Расстояние между обкладками, мкм	Площадь обкладок, м ²
1	1	$1 \cdot 10^{-2}$
2	10	$6 \cdot 10^{-6}$
3	50	$8 \cdot 10^{-4}$
4	100	$2 \cdot 10^{-5}$
5	1000	$3 \cdot 10^{-8}$
6	5	$2 \cdot 10^{-10}$
7	0,5	$2 \cdot 10^{-9}$
8	300	$4 \cdot 10^{-3}$
9	30	$2 \cdot 10^{-10}$
10	400	$9 \cdot 10^{-3}$

12. Используя данные из задачи 11, произведите выбор материалов и расчет размеров конденсатора с напряжением U и номинальной емкостью C .

№ вар.	Напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ
1	1	1
2	1,6	1,5
3	2,5	2,2
4	3,2	3,3
5	4	4,7
6	6,3	6,8
7	10	0,1
8	16	0,15
9	20	0,22
10	25	0,47

13. Для печатной платы, фрагмент топологии которой приведен на рис. 6.6, определите:

- сопротивление изоляции между проводниками 1 и 2;
- максимальные величины токов, которые могут быть пропущены по каждому из проводников, если толщина проводников d , а допустимая плотность тока на прямо-линейных участках проводников $j_{\text{доп}}$;
- падение напряжения ΔU и выделяющуюся мощность P на участке проводника 2 длиной l при прохождении по нему максимального по величине допустимого тока.

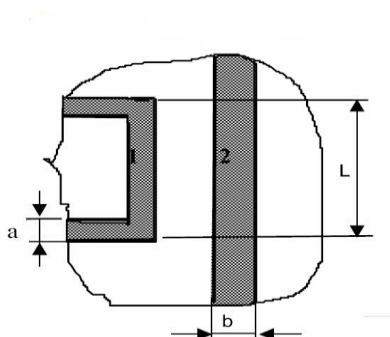


Рис 6.6. Фрагмент топологии печатной платы

№ Вар.	Толщина проводников, мкм	Линейные размеры проводников, мм			Материал проводников	Основание платы	
						Материал	Удельное поверхностное сопротивление, Ом
		a	b	l			Допустимая плотность тока, А/мм ²
1	50	3	1	10	Медь	Стекло-текстолит	10
2	40	1	2	15	Алюминий		45
3	30	2	3	10	Медь		20
4	20	1,5	2	20	Алюминий		15
5	10	3	1,5	10	Медь		30
6	50	2,5	1	25	Алюминий	Гетинакс	25
7	40	2	3	15	Медь		35
8	30	1	2	20	Алюминий		40
9	20	1,5	2,5	30	Медь		20
10	10	2	1,5	20	Алюминий		15

14. Определите максимальное напряжение (с учетом погрешности номинальной величины сопротивления), которое можно приложить к резистору сопротивлением $R + \Delta R$ при температурах t°_1 и t°_2 , если допустимая мощность рассеяния равна P . Температурный коэффициент сопротивления резистора α_R .

№ вар.	$R_{\text{ном}}, \text{Ом}$	$\alpha_R, 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	t_2°	$\Delta R, \%$	t_1°	$P, \text{Вт}$
1	100	+100	60	± 5	20	0,125
2	220	+50	70	± 10	20	0,25
3	150	+200	80	± 20	20	0,5
4	500	-100	90	± 5	20	1
5	4700	-500	100	± 10	20	2
6	51000	-1000	110	± 20	20	0,125
7	6800	+1500	120	± 5	20	0,25
8	91000	+300	130	± 10	20	0,5
9	2700	-2000	140	± 20	20	1
10	10	+500	150	± 5	20	2

15. Для плоского конденсатора с зарядом Q , имеющего металлические обкладки площадью S , расположенные на расстоянии d друг от друга и разделенные слоем материала с диэлектрической проницаемостью ϵ . Определите:

- емкость;
- удельную емкость;
- разность потенциалов между обкладками;
- напряженность электрического поля в диэлектрике;
- энергию, запасенную в конденсаторе;
- плотность запасенной в конденсаторе энергии.

Указания:

1. Удельную емкость конденсатора и плотность запасенной в конденсаторе энергии определять в расчете на единицу активного объема диэлектрика.

№ вар.	Материал диэлектрика	Диэлектрическая проницаемость	Толщина диэлектрика, мкм
1	Политетрафторэтилен	2	1000
2	Оксид алюминия	10	0,2
3	Керамика на основе титаната циркония	40	100
4	Поликарбонат	3	10
5	Пятиокись ниобия	41	0,05
6	Керамика на основе титаната бария	9000	10
7	Ультрафарфор	8,2	6
8	Керамика на основе ниобата свинца	30000	3
9	Слюда	7	1000
10	Пятиокись тантала	27	0,01

№ вар.	1и2	3и4	5и6	7и8	9и10
Площадь электродов, м	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$
Материал диэлектрика	Заряд конденсатора, Кл				
Политетрафторэтилен	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-11}$	$1,7 \cdot 10^{-12}$	$7,0 \cdot 10^{-14}$	$1,8 \cdot 10^{-16}$

Оксид алюминия	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-12}$
Керамика на основе титаната циркония	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-14}$
Поликарбонат	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-14}$
Пятиоксид ниобия	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$7,3 \cdot 10^{-11}$
Керамика на основе титаната бария	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$8,0 \cdot 10^{-11}$
Ультрафарфор	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-13}$
Керамика на основе ниобата свинца	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$8,9 \cdot 10^{-10}$
Слюда	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$6,2 \cdot 10^{-12}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$	$6,2 \cdot 10^{-16}$
Пятиоксид тантала	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$

16. Собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике при комнатной температуре равна n_i ; подвижность электронов — μ_n ; подвижность дырок — μ_p .

Определите:

- отношение полного тока, протекающего через полупроводник, к току, обусловленному электронной составляющей, а также к току, обусловленному дырочной составляющей в собственном полупроводнике;

- концентрацию электронов и дырок в примесном полупроводнике n- или p-типа с удельным сопротивлением ρ ;
- отношение полного тока, протекающего через полупроводник, к току, обусловленному электронной составляющей, а также к току, обусловленному дырочной составляющей в примесном полупроводнике n- или p-типа с удельным сопротивлением ρ .

№ вар.			
1, 2, 8, 9		3, 4, 6, 7	5, 10
Полупроводниковый материал	n-Si p-Si	n-Ge p-Ge	n-GaAs p-GaAs
μ_n , м ² /(В.с)	0,14	0,39	0,95
μ_p , м ² /(В.с)	0,05	0,19	0,045
n_i , м-3	1,0.1016	2,5.1019	6,6.1012

Полупроводниковый материал						
	n-Si	p-Si	n-Ge	p-Ge	n-GaAs	p-GaAs
№ вар.	Удельное сопротивление ρ , Ом.м					
1	$5,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^0$
2	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-1}$
3	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$
4	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
5	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
6	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
7	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$
8	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
9	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
10	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$

17. В полупроводниковом кристалле с собственной концентрацией носителей заряда n_i , подвижностью электронов μ_n и подвижностью дырок μ_p сформирован p-n переход. При этом удельная электропроводность p-области составила γ_1 , а удельная электропроводность n-области — γ_2 .

Определите:

- контактную разность потенциалов в p-n переходе при температуре $T = 300 \text{ K}$;
- плотность обратного тока насыщения в сформированной диодной структуре, если диффузионная длина электронов равна L_n , а диффузионная длина дырок — L_p .
- отношение дырочной составляющей обратного тока насыщения к электронной;
- значение прямого напряжения, при котором плотность тока через p-n переход достигает значения j .

Указания:

Плотность обратного тока насыщения определять из формулы для плотности тока насыщения в диоде с толстой базой.

Коэффициенты диффузии D для электронов и дырок следует находить из соотношения Эйнштейна: $D/\mu = kT/e$, где μ — подвижность носителей заряда k — постоянная Больцмана; T — температура, K; e — заряд электрона.

Напряжение, при котором плотность прямого тока через p-n переход достигает заданного значения, определять с использованием уравнения вольт-амперной характеристики диода в области малых токов.

№ вар.				
	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8	9, 10
Материал p-n перехода	Si	Ge	GaAs	InSb

Параметры материала				
μ_n , м ² /(В.с)	0,14	0,39	0,95	7,8
μ_p , м ² /(В.с)	0,05	0,19	0,045	0,075
n_i , м-3	$1,0 \cdot 10^{16}$	$2,5 \cdot 10^{19}$	$6,6 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{22}$
L_n , м	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
L_p , м	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$

№ вар.	γ^1 , Ом ⁻¹ см ⁻¹	γ^2 , Ом ⁻¹ см ⁻¹	j, А/м ²
1	$1,0 \cdot 10^0$	$1,0 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$
2	$2,0 \cdot 10^1$	$1,0 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$
3	$4,8 \cdot 10^1$	$2,0 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
4	$1,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$
5	$3,0 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^3$
6	$5,0 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^4$
7	$3,0 \cdot 10^5$	$7,0 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^4$
8	$2,0 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^0$	$3 \cdot 10^3$
9	$2,0 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$
10	$8,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$

18. Определите максимальное напряжение, которое можно приложить при температурах T_1 и T_2 к миниатюрному резистору сопротивлением $R_{ном} \pm \Delta R$, работающему на частоте $f = 50$ Гц, если допустимая мощность рассеяния резистора равна P , температурный коэффициент сопротивления резистора αR , а постоянное предельное напряжение, выше которого происходит поверхностный пробой, равно $U_{пр}$.

№ вар.					
	1, 2	3, 4	5, 6	7, 8	9, 10
T_1 , °C	20	20	20	20	20
T_2 , °C	120	100	85	150	160

Последняя цифра шифра	$R_{\text{ном}},$ Ω	$\Delta R, \%$	$\alpha R,$ $10^{-6}/$ $^{\circ}\text{C}$	$U_{\text{пр}}, \text{В}$
1	100	± 5	+200	50
2	120	± 10	+200	100
3	$2 \cdot 10^3$	± 20	+50	50
4	$5,1 \cdot 10^3$	± 5	-100	100
5	$1,8 \cdot 10^4$	± 10	-500	50
6	$3,0 \cdot 10^5$	± 20	-500	100
7	$7,2 \cdot 10^5$	± 10	-1500	50
8	$1,0 \cdot 10^6$	± 20	-1500	100
9	$2,0 \cdot 10^6$	± 10	-2000	50
10	$4,8 \cdot 10^6$	± 20	-2000	

7. ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТАМ И ЭКЗАМЕНУ

1. Основные понятия, определения и положения микро- и наноэлектроники.
2. Связь электроники и квантовой физики.
3. Этапы развития электроники.
4. Виды химических связей.
5. Структура твердых тел.
6. Кристаллические вещества.
7. Строение полупроводниковых кристаллов.
8. Аморфные вещества.
9. Полимеры.
10. Структуры и свойства пленок.
11. Углеродные наноструктуры.
12. Свойства материалов, определяющих особенности химических связей.
13. Фракталы, их свойства, структуры.
14. Фрактальный подход в микро- и наноэлектронике.
15. Механические свойства твердых тел.
16. Прочность и разрушение твердых тел.
17. Теплоёмкость твердых тел.
18. Теплопроводность твердых тел.
19. Тепловое расширение твердых тел.
20. Диффузия.
21. Основы зонной теории твердых тел.
22. Проводники, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории.
23. Электропроводность металлов и сплавов.
24. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков.
25. Электропроводимость диэлектриков.
26. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери.
27. Активные диэлектрики. Приборы функциональной электроники на их основе.
28. Магнитные свойства твердых тел. Классификация магнитов.

29. Природа ферромагнетизма.
30. Процессы при намагничивании ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Магнитострикция.
31. Магнитные потери, магнитная проницаемость и угол потерь. Поверхностный эффект.
32. Классификация магнитных материалов.
33. Материалы с ППГ и тонкие магнитные пленки. ЗУ на их основе.
34. Магнитный резонанс и его применение.
35. Основы статистической физики. Плотность числа состояний.
36. Распределение Максвелла-Больцмана и Бозе-Эйнштейна.
37. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
38. Электропроводность полупроводников. Собственные полупроводники. Концентрация носителей.
39. Примесные полупроводники. Концентрация носителей. Температурные зависимости электропроводности. Зонные диаграммы.
40. Вырожденные и невырожденные полупроводники.
41. Неравновесные носители заряда и механизмы рекомбинации. Зонные диаграммы.
42. Фотопроводимость полупроводников.
43. Физические эффекты в полупроводниках. Эффект сильного поля. Эффект Зенера.
44. Эффект Ганна. Приборы на основе эффекта.
45. Оптические явления в полупроводниках.
46. Термоэлектрические явления в полупроводниках.
47. Эффект Холла.
48. Поверхностные эффекты в полупроводниках.
49. Компактные явления в полупроводниках. Контакт металл-полупроводник. Зонная диаграмма.
50. Образование и свойства р-п перехода. Зонные диаграммы.
51. Прямое и обратное включение р-п перехода. Зонные диаграммы.

52. Явление пробоя р-п перехода. Виды пробоя.
53. Полупроводниковые диоды, классификация, методы изготовления.
54. Выпрямительные диоды.
55. Стабилитрон.
56. Варикап.
57. СВЧ-диоды.
58. Переходные процессы в диодах.
59. Структура биполярных транзисторов и принцип действия.
60. Схемы включения транзисторов.
61. Статические характеристики и параметры транзисторов.
62. Режимы работы транзистора.
63. Частотные свойства транзисторов.
64. Полевые транзисторы. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом.
65. МДП-транзисторы со встроенным каналом.
66. МДП-транзисторы с индуцированным каналом.
67. Фоторезисторы.
68. Фотодиоды и фототранзисторы.
69. Светодиоды.
70. Оптроны.
71. Оптоэлектронные ИМС.
72. Лазеры.
73. Переход от микро- к нанoeлектронике. Кванторазмерные характеристики и объекты.
74. Одноэлектроника. Кулоновская блокада.
75. Спинотроника. Гигантское магнитное сопротивление.
76. Молекулярная электроника.
77. Резонансно-туннельный диод.
78. Устройства на основе квантовых точек и сверхрешеток.
79. Металлический одноэлектронный транзистор.
80. Спиновый полевой транзистор.
81. Элементы памяти на магнитных моментах ядер.
82. КНИ-тринзисторы.

83. Транзисторы с двойным затвором.
84. Гетеротранзисторы.
85. Углеродная электроника.
86. Применение фуллеренов и их производных в микро и нанoeлектронике.
87. Нанoeлектронные устройства на основе углеродных нанотрубок.
88. Молекулы-диоды, молекулы-транзисторы, молекулы-компьютеры.
89. Квантовые компьютеры.
90. Оптoeлектронные наноустройства.
91. Основные сведения о материалах РЭС, классификация материалов.
92. Механические свойства материалов.
93. Теплофизические свойства.
94. Физические основы теплопроводимости радио-материалов. Основы зонной теории.
95. Проводниковые материалы, классификация.
96. Электропроводимость металлов и сплавов. Зонные диаграммы.
97. Металлы высокой проводимости.
98. Благородные металлы.
99. Тугоплавкие металлы.
100. Силициды тугоплавких и платиновых металлов.
101. Применение тонких металлических пленок для коммутации, контактов и выводов ИМС.
102. Металлические затворы в субмикронных МДП-транзисторах (МДПТ).
103. Применение силицидов для формирования затворов МДПТ.
104. Композиционные проводящие материалы.
105. Сплавы высокого сопротивления.
106. Тонкопленочные резисторы.
107. Углеродистые резистивные материалы.
108. Резистивные оксидные материалы.
109. Материалы толстопленочных резисторов.

110. Сверхпроводящие материалы и проводники.
111. Припой.
112. Проводниковые наноматериалы. Композиты на основе проводящих наночастиц.
113. Углеродные проводниковые наноструктуры.
114. Органические проводящие материалы.
115. Нанoeлектронные приборы на основе проводниковых наноматериалов.
116. Полупроводниковые (ПП) материалы, классификация.
117. Электропроводимость ПП. Зонные диаграммы.
118. Влияние внешних факторов на электропроводимость ПП.
119. Физические эффекты в ПП.
120. Элементарные полупроводники.
121. Кремний Si.
122. Кремниевые микро- и нанoeлектронные структуры, аморфный кремний.
123. Микрoкристаллические пленки Si.
124. Пористый Si.
125. Структуры Si на изоляторе, Si на сапфире.
126. Нанокристаллы Si.
127. Кремниевые нано- волокна, -провода, -трубки.
128. Применение кремниевых структур.
129. Германий Ge.
130. Квантово - размерные структуры и приборы на основе Si и Ge.
131. ПП соединения. Соединение $A^{IV}B^{IV}$ - Si и Ge.
132. Карбид кремния SiC.
133. Соединения $A^{III}B^V$.
134. Соединения $A^{II}B^{VI}$.
135. Соединения $A^{IV}B^{VI}$.
136. Твердые растворы на основе двойных ПП соединений.
137. Тройные соединения.
138. Применения ПП соединений.
139. ПП гетероструктуры.

140. Кванто- размерные гетероструктуры и приборы на их основе.
141. Углеродистые ПП материалы и структуры. Карбин. Графит. Графен. Лонсдейлит.
142. Алмаз.
143. Наноалмазы.
144. Фуллерены.
145. Углеродные нанотрубки.
146. Применение углеродных наноструктур.
147. Аморфные ПП.
148. Органические ПП материалы. Применение.
149. Технология получения ПП и ПП структур.
150. Диэлектрики, классификация.
151. Электрофизические свойства диэлектриков, зонные диаграммы.
152. Стекла.
153. Ситаллы.
154. Керамика.
155. Полимеры.
156. Лаки, эмали, компаунды и клеи.
157. Материалы для изоляции ИМС.
158. Диэлектрические пленки для подзатворных диэлектриков в МДП- структурах.
159. Материалы для межуровневой изоляции в БИС.
160. Подложки БИС, ГИС, микромодулей.
161. Диэлектрические пленки для пассивации и защиты бескорпусных ИМС.
162. Диэлектрики для конденсаторов.
163. Материалы для диэлектрических резонаторов.
164. Активные диэлектрики. Сегнетоэлектрики.
165. Пьезоэлектрики.
166. Электреты.
167. Применение активных диэлектриков в устройствах функциональной электроники.
168. Материалы твердотельных лазеров.
169. Жидкие кристаллы.

170. Магнитные свойства твердых тел.
 171. Классификация магнитных материалов.
 172. Природа ферромагнетизма.
 173. Процессы при намагничивании ферромагнетиков.
 174. Магнитомягкие НЧ- материалы. Железо.
 175. Электротехническая сталь.
 176. Низкокоэрцитивные высокопроницаемые сплавы.
 177. Аморфные магнитные сплавы.
 178. Магнитомягкие ВЧ- материалы. Ферриты.
 179. Магнитодиэлектрики.
 180. Магнитотвердые материалы.
 181. Материалы для магнитной записи информации.
 182. Ферриты для устройств СВЧ.
 183. Материалы с ППГ. Применение.
 184. Тонкие магнитные пленки, ЗУ на их основе.
 185. Магнестрикционные материалы.
 186. Наноструктурированные магнитные материалы.
- Суперпарамагнетизм.
187. Наноуглеродные и другие новые ферромагнетики.
 188. Роль технологических процессов в обеспечении качества элементной базы микроэлектроники (НЭ).
 189. Структура технологического процесса, основные технологические операции.
 190. Подложки, пассивные тонкопленочные и толсто-плёночные элементы – резисторы, проводники, конденсаторы.
 191. Технология подгонки резисторов.
 192. Материалы для гибридных схем.
 193. Технология элементов ПП A^3B^5 . Диоды.
 194. Биполярные транзисторы с гетеропереходами A^3B^5 .
 195. Полевые транзисторы на A^3B^5 .
 196. Современные тенденции формирования A^3B^5 -структур.
 197. Переход от микро- к нанотехнологиям. Физические основы нанотехнологий в микро- и нанoeлектронике.

8. ПРИМЕРЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ В 7 СЕМЕСТРЕ

Вариант 1.

1. Какие материалы, применяемые при изготовлении РЭС, называют конструкционными, а какие – радио-материалами?

2. Приведите примеры металлов, кристаллическая структура которых характеризуется плотной кубической упаковкой ионов-шаров.

3. Какие аморфные полупроводники Вы знаете?

4. Кристаллическая решетка — это:

- а) решетка, атомы которой проявляют определенную закономерность хотя бы на микроскопических участках;
- б) решетка, создать которую можно путём трансляции атомного узла по кристаллографическим направлениям;
- в) решетка, которой удобно пользоваться для описания правильной внутренней структуры кристаллов;
- г) атомы, расположенные в определенном порядке.

5. Реальная прочность кристалла на сдвиг гораздо ниже теоретической прочности кристалла, потому что:

- а) в каждый момент времени смещается лишь относительно небольшое количество атомов;
- б) сдвигообразование в кристалле под действием внешней силы представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения;
- в) модуль сдвига меньше модуля Юнга.

6. Окраска кристаллов возникает благодаря появлению центров окраски, которые представляют собой:

- а) дифракционные отражения второго порядка;
- б) отражения на границах блоков;
- в) особые точечные дефекты.

7. Каждая связь С—С в алмазе имеет энергию $W_{\text{СВ}} = 3,7$ эВ. Сколько энергии необходимо затратить для испарения 0,1 г алмаза:

- а) 30 ккал;

- б) 5920 Дж;
- в) 2 кДж;
- г) другое.

8. Известно, что алюминий кристаллизуется в решетке гранцентрированного куба с периодом идентичности $a=0,4041$ нм. Вычислите концентрацию свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится три электрона:

- а) 10^{13} м^{-3} ;
- б) $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$;
- в) $18,18 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

9. Почему надо учитывать α и β контактирующих материалов?

10. Расскажите о методике измерения α твердых тел.

Вариант 2.

1. Какие классы радиоматериалов в зависимости от электрических и магнитных свойств Вы знаете?

2. Определите, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, ОЦК и ГЦК решеткой.

3. Как по своей структуре классифицируются полимеры?

4. Элементарная ячейка кристалла – это:

- а) отдельный элемент кристаллической решетки, с помощью трансляции которого можно получить все кристаллические решетки;
- б) абстракции, помогающие представить строение кристалла;
- в) наименьший параллелепипед, построенный на векторах a , b , c – периодах трансляции;
- г) наименьший куб, построенный на векторах a , b , c .

5. Окраска кристаллов возникает благодаря появлению центров окраски, которые представляют собой:

- а) дифракционные отражения второго порядка;
- б) отражения на границах блоков;
- в) особые точечные дефекты.

6. Реальная прочность кристалла на сдвиг гораздо ниже теоретической прочности кристалла, потому что

а) в каждый момент времени смещается лишь относительно небольшое количество атомов;

б) сдвигообразование в кристалле под действием внешней силы представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения;

в) модуль сдвига меньше модуля Юнга.

7. Вычислите период кристаллической решетки меди, если ее плотность равна 8920 кг/м^3 , а элементарная ячейка представляет собой гранецентрированный куб. Определите объем, приходящийся на один атом:

а) $0,362 \text{ нм}$; $1,18 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$;

б) $5 \text{ \AA}$; 10^{-12} ;

в) 5 мкм ; $3,4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3$;

г) другое.

8. Определить минимальную длину волны де Бройля для свободных электронов при $T \approx 0 \text{ К}$ в металле с простой кубической кристаллической решеткой, если на каждый атом кристалла приходится один свободный электрон. Период решетки равен a :

а) $2a$;

б) 10 нм ;

в) $130 \text{ \AA}$;

г) другое.

9. Нарисуйте dilatometer и объясните принцип его работы.

10. Какие материалы использовались для изготовления dilatometer и почему?

Вариант 3.

1. Охарактеризуйте виды химических связей и их взаимосвязь с механическими свойствами твердых тел.

2. Приведите примеры ионных кристаллов. Какую структуру они имеют?

3. Какие физические состояния имеют линейные полимеры в зависимости от температуры? Опишите их.

4. Решеткой с базисом называют решетку общего типа,
- а) которую можно построить трансляцией какого-либо узла по трём направлениям;
 - б) содержащую частицы только в вершинах элементарной ячейки;
 - в) которую можно построить трансляцией нескольких узлов, задаваемых совокупностью базисных векторов.

5. Примеси оказывают существенное влияние на электрические свойства твёрдых тел:

- а) повышая электрическое сопротивление полупроводников;
- б) понижая электрическое сопротивление металлов;
- в) создавая в полупроводниках новые электрические уровни и приводят к появлению примесной проводимости;
- г) понижая проводимость металлов.

6. Винтовая дислокация — это линейный дефект, возникающий:

- а) под действием касательных напряжений, приводящих к сдвигу одной части кристалла относительно другой;
- б) при локальном искажении решетки в результате смещения;
- в) при введении экстраплоскости.

7. Оцените среднее энергетическое расстояние $6W$ между разрешенными энергетическими уровнями зоны проводимости в кристалле серебра объемом $V=1\text{ см}^3$, если энергия Ферми $W_F=5,5\text{ эВ}$:

- а) $2,5\text{ эВ}$;
- б) 1200 эВ ;
- в) $1,89 \cdot 10^{-22}\text{ эВ}$;
- г) другое.

8. Вычислите длину свободного пробега электронов в меди при $T=300\text{ К}$, если ее удельное сопротивление при этой температуре равно $0,017\text{ мкОм/м}$:

- а) $3,89 \cdot 10^{-8}\text{ м}$;
- б) $4,2 \cdot 10^{-13}\text{ м}$;
- в) $3,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}$;

г) другое.

9. Как произвести расчет КТЛР для любого заданного температурного интервала и для данной температуры?

10. Какие напряжения возникают в стекле и металле спая, если $\alpha_{ст} > \alpha_{м}$?

Вариант 4.

1. Какую структуру могут иметь твердые тела и какими методами определяется эта структура?

2. Какие структуры характерны для элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений?

3. Назовите параметры, определяющие эксплуатационные и технологические свойства полимеров?

4. Для описания направления в кристалле выбирается прямая:

- а) проходящая через две точки, лежащие на осях координат;
- б) проходящая через два узла элементарной ячейки;
- в) проходящая через начало координат и однозначно определенная индексами ближайшего к нему узла, через который она проходит.

5. Плоскостями скольжения в кристалле называют атомные плоскости:

- а) по которым происходит сдвиг части кристалла относительно другой;
- б) перпендикулярные скалывающим напряжениям;
- в) наименее плотно упакованные;
- г) наиболее плотно упакованные.

6. Краевая дислокация — это линейный дефект, образованный:

- а) «лишней» атомной плоскостью;
- б) плоскостью, обрывающейся внутри кристалла;
- в) двумя, взаимно-перпендикулярными плоскостями.

7. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a — постоянная кубической решетки. Определить индексы Миллера этой плоскости, если $k = 1,5$; $l = 3$; $m = 2$:

- а) (423);
- б) (111);
- в) (362);
- г) другое.

8. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре, если материал – алюминий, скорость продольных волн $C_l = 5000$ м/с, скорость поперечных волн $C_t = 3000$, плотность алюминия $\rho = 3000$ кг/м³.

E	G
а) 80 Мпа;	а) 27 Гпа;
б) 75 Гпа;	б) 100 Мпа;
в) 20 Гпа	в) 100 Гпа;
г) другое	г) другое

9. Какие напряжения возникают в стекле и металле спая, если $\alpha_{ст} < \alpha_m$?

10. Охарактеризуйте распространение объемных волн в изотропных твердых телах.

Вариант 5.

1. Какие тела называют кристаллическими? Приведите примеры.

2. В чем заключается явление полиморфизма? Приведите примеры.

3. Какую структуру имеет керамика? Каковы свойства аморфных материалов?

4. Границы зерен и блоков являются носителями избыточной свободной энергии,

а) обуславливающей повышенную скорость, протекания химических реакций и диффузий;

б) определяющей значительную долю электрического сопротивления твердого тела;

в) приводящей к разрушению кристаллической решетки.

5. Система скольжения образуется совокупностью:

- а) плоскостей скольжения и направлений скалывающих напряжений;
- б) плоскости скольжения и направления скольжения;
- в) плоскостей с наименьшей плотностью упаковки атомов и направления скалывающего напряжения.

6. К линейным дефектам относятся:

- а) дефекты по Шоттки;
- б) дефекты по Френкелю;
- в) краевые дислокации;
- г) винтовые дислокации;
- д) границы зерен.

7. Кристалл, находящийся при комнатной температуре и содержащий 10^{22} атомов, имеет 10^5 вакансий. Какова энергия активации образования вакансий?

8. Объясните увеличение межатомных расстояний твердых тел при нагревании. На сколько процентов увеличивается межатомное расстояние при нагревании твердого тела на 20 К, если его линейный коэффициент термического расширения равен?

9. Расскажите о методах возбуждения и регистрации объемных акустических волн в твердых телах

10. Опишите методику измерения скорости объемных волн.

Вариант 6.

1. Что такое кристаллическая решётка, решетка Бравэ, решетка с базисом?

2. Какие дефекты кристаллической решетки Вы знаете? Приведите примеры.

3. Какую структуру могут иметь тонкие металлические пленки?

4. Дефекты по Френкелю – это:

- а) появление вакансии при испарении атомов с поверхности кристалла;
- б) появление вакансии при переходе атома из узла в междоузлие;

в) появление вакансии при переходе атома с поверхности кристалла в положение над поверхностью.

5. Упрочнение кристаллов связано с необратимостью процессов, вызванными:

- а) перемещением атомов и отдельных частей кристалла друг относительно друга;
- б) увеличением внутренней энергии твердого тела;
- в) процессом рекристаллизации.

6. Дефекты по Шоттки - это

- а) дислокации;
- б) появление вакансии при переходе атома из узла в междоузлие;
- в) появление вакансии в узле и атома в междоузлии;
- г) границы зерен.

7. Определите, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, ОЦК и ГЦК решеткой.

8. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки. Определите индексы Миллера этой плоскости, если $k = 3$; $l = 3$; $m = 3$:

- а) (423);
- б) (632);
- в) (111);
- г) другое.

9. Определите коэффициент теплопроводимости металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях, если металл – алюминий, удельное сопротивление $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а $\lambda = 400$ Вт/м·К:

- а) 250 Дж;
- б) 400 Вт/м·К;
- в) 800 Вт;
- г) другое.

10. Приведите схему лабораторной установки, расскажите о порядке работы с приборами, входящими в ее состав.

Вариант 7.

1. Что такое индексы Миллера? Как определяются индексы узлов, направления и плоскостей в кристаллической решетке?

2. Изобразите точечные дефекты кристаллов, линейную и винтовую дислокации.

3. Назовите и объясните механизмы роста тонких пленок.

4. Дефекты по Шоттки — это:

а) дислокации;

б) появление вакансии при переходе атома из узла в междоузлии;

в) появление вакансии в узле и атома в междоузлии;

г) границы зерен.

5. Тепловая энергия твердого тела складывается:

а) из коллективного движения в форме упругой волны, охватывающей все частицы кристалла;

б) из энергии только нормальных колебаний решетки;

в) только из тепловой энергии свободных электронов.

6. Дефекты по Френкелю — это:

а) появление вакансии при испарении атомов с поверхности кристалла;

б) появление вакансии при переходе атома из узла в междоузлие;

в) появление вакансии при переходе атома с поверхности кристалла в положение над поверхностью.

7. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре, если материал — оргстекло, скорость продольных волн $C_l = 2500$ м/с, скорость поперечных волн $C_t = 1000$ м/с, плотность оргстекла $\rho = 1000$ кг/м³.

E	G
а) 1 ГПа;	а) 10 МПа;
б) 6,25 ГПа;	б) 1 ГПа;

в) 20 МПа;	в) 2 МПа
г) другое.	г) другое

8. При выполнении лабораторной работы по изучению теплового расширения твердых тел при нагреве на 20°C было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5\text{ см}$. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения, если материал – алюминий, приращение длины образцов $\Delta L = 24\text{ мкм}$:

α	β
а) $5 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;	а) $70 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;
б) 10;	б) 2;
в) $24 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;	в) 80;
г) другое.	г) другое

9. Как измеряется температурный коэффициент задержки?
10. Как связаны ТКЗ и ТКС?

Вариант 8.

- Опишите особенности структуры аморфных твердых тел.
- Можно ли создать бездефектные кристаллы? Какие существуют пути улучшения механических свойств твердых тел?
- Что называют размерным эффектом в тонких пленках?
- К линейным дефектам относятся:
 - дефекты по Шоттки;
 - дефекты по Френкелю;
 - краевые дислокации;
 - винтовые дислокации;
 - границы зерен.

5. Теплоемкость твердого тела при постоянном объеме выражает:

- а) изменение температуры при увеличении мощности нагревателя на 1Вт;
- б) изменение тепловой энергии при изменении температуры тела на 1 °С;
- в) изменение спектра нормальных колебаний частиц кристалла;
- г) количество тепла, переносимого через единицу площади за 1 с.

6. Границы зерен и блоков являются носителями избыточной свободной энергии:

- а) обуславливающей повышенную скорость, протекания химических реакций и диффузий;
- б) определяющей значительную долю электрического сопротивления твердого тела;
- в) приводящей к разрушению кристаллической решетки.

7. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки. Определите индексы Миллера этой плоскости, если $k = 2$; $l = 1$; $m = 3$:

- а) (111);
- б) (362);
- в) (632);
- г) другое.

8. Определите коэффициент теплопроводимости металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях, если металл – олово, удельное сопротивление $\rho = 11,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а $\lambda = 400$ Вт/м·К:

- а) 30 Вт/м·К;
- б) 60 Вт/м·К;
- в) 1000;
- г) другое.

9. Какие параметры твердого тела характеризуют упругие модули?

10. Сравните полученные значения модулей Юнга и сдвига, исследованных стекол с аналогичными параметрами алмаза, металлов и эластомеров. Чем обусловлена столь значительная разница этих параметров?

Вариант 9.

1. Как по своей структуре классифицируются полимеры?
 2. Какие вещества называют стеклами и ситаллами? Какова их структура?

3. Что собой представляют перспективные углеродистые структуры?

4. Краевая дислокация — это линейный дефект, образованный:

- а) «лишней» атомной плоскостью;
- б) плоскостью, обрывающейся внутри кристалла;
- в) двумя взаимно-перпендикулярными плоскостями,

5. При температуре Дебая в твердом теле возбуждаются:

- а) нормальные колебания максимальных частот;
- б) нормальные колебания минимальных частот;
- в) нормальные колебания всего спектра частот.

6. Для описания направления в кристалле выбирается прямая:

- а) проходящая через две точки лежащие на осях координат;
- б) проходящая через два узла элементарной ячейки;
- в) проходящая через начало координат и однозначно определяется индексами ближайшего к нему узла, через который она проходит.

7. При выполнении лабораторной работы по изучении теплового расширения твёрдых тел при нагреве на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5\text{ см}$. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения, если материал – стекло, приращение длины образцов $\Delta L = 5\text{ мкм}$:

α	β
а) $5 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;	а) $15 \cdot 10^{-6}\text{ К}^{-1}$;

б) 10^3 ;	б) 2;
в) 10^{-6} К^{-1} ;	в) 80;
г) другое.	г) другое.

8. Известно, что алюминий кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности $a=0,4041 \text{ нм}$. Вычислите концентрацию свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится три электрона:

а) $18,18 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;

б) 10^{13} см^{-3} ;

в) $16,2 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$;

г) другое.

9. Чем обусловлено сопротивление тонких металлических пленок?

10. Какое влияние на проводимость пленок оказывают структурные дефекты?

Вариант 10.

1. Какую структуру имеют металлы?

2. Что такое аморфные металлы? Как их получают?

3. Что определяет волновая функция? Какое состояние электрона называется стационарным?

4. Винтовая дислокация — это линейный дефект, возникающий:

а) под действием касательных напряжений, приводящих к сдвигу одной части кристалла относительно другой;

б) при локальном искажении решетки в результате смещения;

в) при введении экстраплоскости.

5. Энергия кристалла с повышением температуры увеличивается вследствие:

а) роста средней энергии каждого нормального колебания из-за повышения степени его возбуждения;

б) роста числа возбужденных нормальных колебаний решетки;

в) роста как средней энергии каждого нормального колебания и роста числа возбужденных нормальных колебаний решетки;

г) плохой теплопроводности.

6. Решеткой с базисом называют решетку общего типа:

а) которую можно построить трансляцией какого-либо узла по трем направлениям;

б) содержащую частицы только в вершинах элементарной ячейки;

в) которую можно построить трансляцией нескольких узлов, задаваемых совокупностью базисных векторов.

7. Каждая связь С—С в алмазе имеет энергию

$W_{\text{СВ}} = 3,3$ эВ. Сколько энергии необходимо затратить для испарения

0,1 г алмаза:

а) 10 Вт;

б) 10^5 эВ;

в) 5920 Дж;

г) другое.

8. Известно, что металл кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности, $a = 0,6$ нм. Вычислите концентрацию свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится пять электронов.

а) $30 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$;

б) $18,5 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$;

в) 10^{16} см^{-3} ;

г) другое.

9. ПРИМЕРЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ В 8 СЕМЕСТРЕ

Вариант 1.

1. Чем различаются зонные структуры металлов, полупроводников и диэлектриков? Чему равна ширина запрещенной зоны этих веществ?

2. Приведите основные свойства серебра и конкретные примеры его использования в РЭС. Почему серебро не используется для создания электрических контактов в микроэлектронике?

3. Какие материалы называют криопроводниками? Приведите примеры и расскажите о применении сверхпроводников и криопроводников в современной радиоэлектронике.

4. Примеси оказывают существенное влияние на электрические свойства твёрдых тел:

- а) повышая электрическое сопротивление полупроводников;
- б) понижая электрическое сопротивление металлов;
- в) создавая в полупроводниках новые энергетические уровни и приводят к появлению примесной проводимости;
- г) понижая проводимость металлов.

5. Приведите примеры некоторых соединений $A^{III}B^V$:

- а) GaP;
- б) CdS;
- в) SiC;
- г) GaAs;
- д) PbTe;
- е) InSb.

6. Проводимость соединений $A^{II}B^{VI}$ можно повысить на несколько порядков путем:

- а) использования сильных электрических полей;
- б) термообработки в парах собственных компонентов;
- в) добавлением акцепторов.

7. Вычислите длину свободного пробега электронов в меди при $T=300$ К, если ее удельное сопротивление при этой температуре равно $0,017$ мкОм/м:

- а) $2,05 \cdot 10^{-3}$ м;
- б) 1,18 мм;
- в) $3,89 \cdot 10^{-8}$ м;
- г) другое.

8. Определите время, в течение которого электрон пройдет расстояние 1 км по медному проводу, если удельное сопротивление меди $0,017$ мкОм·м, а разность потенциалов на концах проводника $U=220$ В. За какое время электрон пролетит это же расстояние, двигаясь без соударений, при той же разности потенциалов? Каково время передачи сигнала:

- а) 3,2 с;
- б) $9,6 \cdot 10^{-4}$ с;
- в) $2,24 \cdot 10^{-4}$ с;
- г) другое.

9. Как определяется величина удельного поверхностного сопротивления?

10. Каким образом вычисляются параметры размерного эффекта?

Вариант 2.

1. Какие материалы называются проводниковыми? Приведите классификацию проводниковых материалов.

2. Какие свойства меди обуславливают ее широкое применение в радиоэлектронике? Назовите области применения меди. Что такое «водородная болезнь»?

3. Какие материалы называют припоями? Укажите их назначение в устройствах РЭС.

4. Аморфные материалы характеризуются:

- а) наличием кристаллической решетки;
- б) отсутствием строго упорядоченного расположения атомов;
- в) низкой температурой плавления.

5. Металлами высокой проводимости являются:

- а) серебро;
- б) молибден;
- в) медь;
- г) вольфрам;

д) алюминий.

6. Какие твердые растворы AB^{VI} вы знаете?

- а) ZnS-CdS;
- б) ZnS-ZnSe;
- в) PbS-SnS;
- г) PbTe-SuTe;
- д) CdTe-HgTe.

7. Определите температурный коэффициент линейного расширения α_l и удлинение нихромовой проволоки, если известно, что при повышении температуры от 20 до 1000°C электрическое сопротивление проволоки изменяется от 50 до 56,6 Ом. Длина проволоки в холодном состоянии $l=50$ м. Температурный коэффициент удельного сопротивления нихрома принять равным $15 \cdot 10^{-5} K^{-1}$:

α_l	Δl
а) $1,5 \cdot 10^{-5} K^{-1}$;	а) 73,5 см;
б) $2 \cdot 10^{-3} K^{-1}$	б) 1мм;
в) 5;	в) 10 мкм;
г) другое.	г) другое.

8. Определите, во сколько раз изменится удельная теплопроводность λ_T меди при изменении температуры ΔT от 20 до 200°C:

- а) 2;
- б) 1,36;
- в) 10;
- г) другое.

9. Укажите области применения тонких металлических пленок

10. Какой материал имеет бóльшую величину удельного сопротивления: медь или константан и почему?

Вариант 3.

1. Объясните механизм высокой электропроводности металлов. Приведите аналитическое выражение закона Ома.

2. Какими преимуществами и недостатками по сравнению с медью обладает алюминий? Укажите области применения алюминия в электронной технике.

3. Приведите состав припоя ПОС–61, его свойства и укажите, почему его применяют при ответственной пайке (например, радиоэлементов на печатных платах).

4. Кремний обладает следующими свойствами:

- а) нечасто используется в полупроводниковом производстве;
- б) наиболее распространенный элемент в земной коре (27,6%);
- в) химически инертен;
- г) непрочный, хрупкий материал;
- д) рабочая температура 60-80 °С;
- е) $\rho = 10^{-5}-10^3 \text{ Ом м}$;
- ж) низкая температура плавления;
- з) плотность 2300 кг/м³; $\alpha = 3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$;
- и) тензочувствителен.

5. Серебро обладает следующими свойствами:

- а) блестящий металл белого цвета;
- б) металл серого цвета;
- в) стойкий к окислению при нормальных условиях;
- г) активно окисляется;
- д) $\rho = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- е) $\rho = 9,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

6. К сплавам высокого сопротивления относят:

- а) сплавы типа манганина;
- б) сплавы серебро-золото;
- в) сплавы железо-углерод;
- г) хромоникелевые сплавы (нихромы);
- д) оловянносвинцовые сплавы.

7. Удельное сопротивление меди, содержащей 0,3 ат. % олова при температуре 300 К, составляет 0,0258 мкОм·м. Определите отношение β удельных сопротивлений меди при температурах 300 и 4,2 К. $\beta = \rho_{300}/\rho_{4.2}$:

- а) 20;
- б) 2,87;
- в) 16;

г) другое.

8. Температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_{св}$ для олова в отсутствие магнитного поля равна 3,7 К, а критическая напряженность магнитного поля $H_{св}$ при температуре абсолютного нуля ($T=0$ К) составляет $2,4 \cdot 10^4$ А/м. Рассчитайте максимально допустимое значение тока при температуре $T=2$ К для провода диаметром $d=1$ мм, изготовленного из сверхпроводящего олова. Определите для этой температуры диаметр провода, по которому может протекать ток 100 А без разрушения сверхпроводящего состояния:

а) $1,87 \cdot 10^{-3}$ м;

б) 2 мм;

в) $14 \cdot 10^{-3}$ м;

г) другое.

9. Что называют температурным коэффициентом удельного сопротивления? Чему он равен для большинства металлов?

10. Почему электропроводность металлов и сплавов падает с ростом температуры, а полупроводников растет?

Вариант 4.

1. Как зависит проводимость металлов от температуры? Что такое температурный коэффициент удельного сопротивления?

2. Чем обусловлено широкое применение тантала в производстве конденсаторов?

3. Почему припой ПОСК-50-18 не применяют для пайки радиоэлементов с позолоченными выводами и какой припой применяют при этом?

4. Полупроводниковые материалы бывают:

а) неорганические;

б) органические;

в) биметаллические;

г) диэлектрические;

д) кристаллические;

- е) аморфные;
- ж) твердые;
- з) жидкие;
- и) газообразные;
- к) магнитные;
- л) немагнитные.

5. SiC:

- а) наиболее твердый, не окисляется до 1400 °С;
- б) пластичный, окисляется при 20 °С;
- в) при нагревании не реагирует с щелочами и кислотами.

6. Из тантала получают:

- а) резистивные пленки;
- б) контактные площадки ИМС;
- в) электролитические и тонкопленочные конденсаторы;
- г) детали генераторных ламп;
- д) провода и кабели;
- е) корпуса РЭА.

7. Определите напряженность электрического поля, возникающего в зазоре между пластинами плоского конденсатора, одна из которых изготовлена из алюминия, а другая из платины. Пластины соединены между собой медным проводом, а длина зазора $l=5$ мм. Работа выхода электронов из алюминия, меди и платины составляет соответственно 4,25, 4,4 и 5,32 эВ. Как изменится напряженность поля, если алюминиевую и медную пластины закоротить проводом из платины при той же длине зазора:

E_1	E_2
а) 18 В/м;	а) -30 В/м;
б) -214 В/м;	б) 100 В/м;
в) 100 В/м;	в) 10 В/м;
г) другое.	г) другое.

8. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при 20°С равно 35 Ом. Определите температуру нити лампочки, если известно, что при ее включении в сеть на-

пряжением 220 В в установившемся режиме по нити проходит ток 0,6 А. Температурный коэффициент удельного сопротивления вольфрама при 20°C можно принять равным $5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$:

- а) 400 К;
- б) 1960 К;
- в) 2188 К;
- г) другое

9. Что такое ширина запрещенной зоны полупроводника и энергия активации примесей?

10. В каких единицах они измеряются и на какие параметры полупроводников влияют?

Вариант 5.

1. Как влияют примеси на удельное сопротивление металлов? Сформулируйте правило Маттисена.

2. Какие сплавы называются сплавами высокого сопротивления? Назовите их и укажите области применения в электронной технике.

3. Какие вещества называются полупроводниками? В чем заключается особенность их свойств?

4. Кристаллические полупроводники:

- а) элементарные;
- б) бездефектные;
- в) химические соединения;
- г) твердые растворы;
- д) металлические.

5. Наибольшую термо-э.д.с. имеет термопара:

- а) хромель-копель;
- б) платинородий-платина;
- в) медь-константан.

6. Металлосилицидные сплавы (МЛТ) имеют состав:

- а) Si – Cr – Ni – Fe;
- б) Si – SiO₂ – Fe – Cr – Ni – W;
- в) Cu – Ni – Fe – W.

7. Вычислить, во сколько раз сопротивление $R_{\sim}$ медного провода круглого сечения диаметром $d=1$ мм на частоте $f=10$ МГц больше сопротивления R_0 этого провода постоянному электрическому току:

- а) 2;
- б) 5;
- в) 12;
- г) другое.

8. Кристалл арсенида индия легирован серой так, что избыточная концентрация доноров $N_d - N_a = 10^{22} \text{ м}^{-3}$. Можно ли считать, что при температуре $T=300^\circ\text{C}$ электрические параметры этого полупроводника близки параметрам собственного арсенида индия, если эффективные массы плотности состояний для электронов $m_c = 0.023m_0$, для дырок $m_v = 0.43m_0$, а ширина запрещенной зоны (эВ) InAs изменяется с температурой по закону $0,462 - 3,5 \cdot 10^{-4}T$:

- а) да;
- б) нет;
- в) другое.

9. Какие методы измерения ширины запрещенной зоны полупроводников Вы знаете?

10. Как можно использовать зависимость электропроводности металлов, сплавов и полупроводников от температуры? Приведите примеры.

Вариант 6.

1. Каким образом механические деформации влияют на удельное сопротивление металлов?

2. Какие резистивные материалы применяются для изготовления резистивных элементов (пленочных и дискретных)?

3. Какие функции выполняют полупроводниковые материалы в РЭС?

4. Используются ли углеродистые резисторы в ИМС?

- а) не используются;
- б) широко используются;

в) ограниченно.

5. Из монокристаллического SiC изготавливают:

- а) мощные выпрямительные диоды;
- б) подложки ИМС;
- в) радиаторы;
- г) различные виды резисторов;
- д) тонкоплёночные резисторы;
- е) диоды, полевые транзисторы;
- ж) светодиоды;
- з) фотодиоды;
- и) зеркала мощных лазеров;
- к) охлаждающие модули;
- л) нагреватели.

6. Только CdTe и HgTe могут иметь электропроводность:

- а) n-типа;
- б) p-типа;
- в) собственную;
- г) как n-типа, так и p-типа.

7. Вычислите положение уровня Ферми при $T=300\text{ К}$ в кристаллах германия, содержащих $2 \cdot 10^{22}\text{ м}^{-3}$ атомов мышьяка и 10^{22} м^{-3} атомов галлия:

- а) 2 эВ;
- б) 0,179 эВ;
- в) 0,55 эВ;
- г) другое.

8. Определите скорость оптической генерации g неравновесных носителей заряда в пластине кремния на глубине 100 мкм от освещаемой поверхности при фотовозбуждении монохроматическим излучением интенсивностью $I_0 = 10^{20}\text{ м}^{-2}\text{ с}^{-1}$, если показатель поглощения материала на длине волны излучения $\alpha = 5 \cdot 10^4\text{ м}^{-1}$, а коэффициент отражения излучения $R = 0,3$:

- а) $2,36 \cdot 10^{22}\text{ м}^{-3}\text{ с}^{-1}$;
- б) $4,12 \cdot 10^{13}\text{ м}^{-3}\text{ с}^{-1}$;
- в) $3,2 \cdot 10^{15}\text{ м}^{-3}\text{ с}^{-1}$;
- г) другое

9. Объясните устройство термоэлектрического охлаждающего модуля и схему лабораторной установки.

10. Как определяется величина оптимального тока $I_{\text{опт}}$?

Вариант 7.

1. Как зависит удельное сопротивление тонких металлических пленок от их толщины и почему?

2. Что такое термобиметаллы и тензометрические сплавы? Приведите примеры и назовите области их применения.

3. Как классифицируются полупроводниковые материалы по структуре и по составу?

4. Выпускается кремний марок:

а) БКЭХ-безкислородный кремний электронной проводимости, X – значение удельного сопротивления;

б) КЭМХ-кремний (по Чохральскому) электронный, легирован мышьяком, X – проценты As;

в) КДБХ-кремний (по Чохральскому), дырочный, легирован бором, X – удельное сопротивление.

5. Сверхпроводимость - это:

а) эффект постепенного исчезновения сопротивления ниже определенной критической температуры $T_{\text{св}}$; $\rho = 10^{-10}$ Ом·м;

б) эффект внезапного уменьшения сопротивления до $\rho = 10^{-12}$ Ом·м в определенном интервале температур;

в) эффект внезапного исчезновения сопротивления постоянного тока при $T_{\text{св}}$; $\rho = 10^{-25}$ Ом·м.

6. Применение полупроводников $A^{IV}B^{VI}$:

а) люминофоры;

б) диоды Ганна;

в) фоторезисторы;

г) гетеротранзисторы;

д) акустические устройства;

е) оптическая керамика;

ж) приемники ИК-излучения;

з) оптроны;

и) диодные лазеры;

к) датчики Холла.

7. Определить избыточную концентрацию носителей заряда и эпитаксиальном слое кремния толщиной $B = 20$ мкм при оптическом возбуждении монохроматическим излучением с интенсивностью $I = 10^{21} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, если время жизни неравновесных носителей заряда $t = 10$ мкс, а показатель собственного поглощения кремния надлине волны излучения $a = 2000$. Квантовый выход внутреннего фотоэффекта принять равным единице.

- а) 10^{13} см^{-3} ;
- б) $5 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$;
- в) $2 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$;
- г) другое.

8. Прямоугольный образец полупроводника n-типа с размерами $a = 50$ мм, $b = 5$ мм и $\delta = 1$ мм помещен в магнитное поле с индукцией $B = 0,5$ Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Под действием напряжения $U_n = 0,42$ В, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток $I_a = 20$ мА. Измерения показывают ЭДС Холла $U_H = 6,25$ мВ. Найти удельную проводимость, подвижность и концентрацию носителей заряда для этого полупроводника, полагая, что электропроводность обусловлена носителями только одного знака:

γ	n	μ_n
а) 10 См/м ;	а) 10^{13} см^{-3} ;	а) $0,3 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
б) 480 См/м ;	б) 10^{22} м^{-3} ;	б) $210 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
в) 3 См/м ;	в) 10^{12} см^{-3} ;	в) $12 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$;
г) другое.	г) другое.	г) другое.

9. Как рассчитывается коэффициент Пельтье, термоэлектрическая добротность и холодильный коэффициент?

10. Как практически используются эффекты Зеебека и Пельтье? Приведите примеры.

Вариант 8.

1. Что называют термо - э.д.с. и контактной разностью потенциалов, в чем причины их возникновения? Что такое «термопара»?

2. Что такое сверхпроводимость? Какие металлы и в каких условиях переходят в состояние сверхпроводимости? Объясните физическую природу сверхпроводимости.

3. Назовите основные свойства кремния, его достоинства и области применения. Какими методами получают монокристаллы высокоомного и низкоомного кремния?

4. Эффект Мейснера проявляется в том, что:

- а) магнитное поле при $T > T_{св}$ выталкивается из проводника при переходе в сверхпроводящее состояние;
- б) под действием магнитного поля сверхпроводимость исчезает;
- в) сверхпроводник I рода переходит в сверхпроводник II рода при определенной напряженности магнитного поля.

5. Акцепторами (1) и донорами (2) в GaAs являются:

- а) цинк;
- б) сера;
- в) теллур;
- г) медь;
- д) кадмий;
- е) селен.

6. Криопроводники — это:

- а) материалы, у которых выше $T_{св}$ в сотни и тысячи раз возрастает ρ ;
- б) материалы, у которых появляется проводимость ($\rho = 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) ниже $T_{св}$;
- в) материалы, у которых резко падает ρ (до $10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) в области отрицательных температур;
- г) материалы, которые при $T > T_{св}$ обладают очень низким значением ρ (в сотни и тысячи раз меньшим, чем при комнатной температуре).

7. Имеется германиевый p-n-переход с концентрацией примесей $N_D = 10^3 \text{ Na}$, причем на каждые 10^8 атомов гер-

мания приходится один атом акцепторной примеси. Определите контактную разность потенциалов при температуре $T = 300 \text{ К}$. Концентрации атомов германия N и ионизированных атомов n_i принять равными $4,4 \cdot 10^{22}$ и $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ соответственно:

- а) 2В;
- б) 0,326 В;
- в) 1,26 В;
- г) другое.

8. Германиевый р-п-переход имеет обратный ток насыщения 1 мкА, а кремниевый переход таких же размеров — обратный ток насыщения 10^{-8} А . Вычислите и сравните прямые напряжения $U_{\text{пр}}$ на переходах при $T=293 \text{ К}$ и токе 100 мА:

- а) 1 В;
- б) 50 мВ;
- в) 407 мВ;
- г) другое.

9. Как устроен вакуумный пост ЭВП-2?

10. Расскажите о порядке включения и выключения вакуумной установки ЭВП-2.

Вариант 9.

1. Какие металлы называются металлами высокой проводимости? Приведите примеры.

2. Как влияет магнитное поле на критическую температуру перехода в состояние сверхпроводимости? Чем различаются сверхпроводники первого и второго рода?

3. Какой кремний с точки зрения содержания дефектов применяют для получения эпитаксиальных структур?

4. Марки эпитаксиальных пленок Si:

- а) ЭКДБ (Э – эпитаксиальный, К – кремний, Д – дырочный, Б – легирован бором);
- б) КЭМД (К – кремний, Э- эпитаксиальный, М – легирован мышьяком, Д - дырочный);
- в) ЭКБД (Э – эпитаксиальный, К – кремний, Б – легирован бором, Д – дырочный).

5. Приборы на основе GaAs работают:

- а) при низких температурах (60°C);
- б) в области СВЧ;
- в) при высоких температурах (450°C);
- г) при высоких температурах (1400°C);
- д) в области низких частот.

6. Твёрдые растворы $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ способны создавать:

- а) переходы Шоттки;
- б) гетеропереходы;
- в) переходы металл-металл.

7. Обратный ток насыщения контакта металл — полупроводник с барьером Шоттки $I_0 = 2$ мкА. Контакт соединён последовательно с резистором и источником постоянного напряжения $= 0,2$ В. Определите сопротивление резистора R , если падение напряжения на нем $U_R = 0,1$ В. Контакт находится при температуре $T=300$ К:

- а) 10,50;
- б) 47,2 кОм;
- в) 1,08 кОм;
- г) другое.

8. Вычислите поляризованность монокристалла каменной соли, считая, что смещение ионов под действием электрического поля от положения равновесия составляет 1% расстояния между ближайшими соседними ионами. Элементарная ячейка кристалла имеет форму куба, расстояние между соседними ионами $a=0,28$ нм.

- а) $0,002$ Кл/ м^2 ;
- б) 5 Кл/ м^2 ;
- в) 220 Кл/ м^2 ;
- г) другое.

9. Охарактеризуйте используемые в работе испарители и подложки. Каковы критерии выбора испарителя для напыления тонких пленок?

10. Как осуществляется подготовка подложек?

Вариант 10.

1. Какие свойства золота обуславливают применение его в радиоэлектронных средствах? Приведите конкретные примеры использования его в РЭС.

2. Что такое высокотемпературная сверхпроводимость? Назовите материалы с самой высокой критической температурой перехода в сверхпроводящее состояние на сегодняшний день.

3. Назовите основные свойства германия, его недостатки и достоинства, область применения и методы получения.

4. Кремний применяют для изготовления:

- а) лазеров;
- б) планарных транзисторов и ИМС;
- в) разводки ИМС;
- г) диодов, биполярных, полевых транзисторов;
- д) сердечников трансформаторов;
- е) стабилитронов, тиристор;
- ж) нагревателей;
- з) фоточувствительных приборов;
- и) корпусов ИМС;
- к) различных датчиков.

5. Электропроводность антимонида индия при 20°C:

- а) электронная;
- б) дырочная;
- в) собственная.

6. Халькогениды свинца в природе встречаются в виде:

- а) галенита;
- б) вюрцита;
- в) клаусталита;
- г) вольфрамит;
- д) алтанита.

7. Между пластинами плоского конденсатора без воздушных промежутков зажат лист гетинакса толщиной $h = 1$ мм. На конденсатор подано напряжение $U = 200$ В. Определите поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора σ_1 и на

диэлектрике σ_g . Диэлектрическую проницаемость материала принять равной шести.

σ_1	σ_g
а) 10^{-3} Кл;	а) $8,85 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;
б) 10^{-5} Кл/м ² ;	б) 9,2 Кл;
в) 2,6 Кл;	в) $3,6 \cdot 10^{-2}$ Кл/м ² ;
г) другое.	г) другое.

8. Спонтанная поляризованность монокристаллов титаната бария при комнатной температуре равна 0,25 Кл/м². Предполагая, что причиной возникновения спонтанной поляризации является только смещение иона титана из центра элементарной кубической ячейки, определить это смещение. Период идентичности а решетки принять равным 0,4 нм.

- а) 1,05 нм;
- б) 0,025 нм;
- в) 22 мкм;
- г) другое

9. Каков порядок измерения сопротивления тонких пленок с помощью потенциометра УПИП-60М? Объясните методику расчета их удельного сопротивления.

10. Каковы правила техники безопасности при работе на вакуумных установках?

10. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ И КОМПЛЕКСНОГО ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ СТОРОННИМ ЭКСПЕРТОМ

Вариант 1

1. Основные элементарные частицы, из которых состоят вещества:

- а) протоны;
- б) молекулы;
- в) ионы;
- г) нейтроны;
- д) электроны.

2. Реальная прочность кристалла на сдвиг гораздо ниже теоретической прочности кристалла, потому что

- а) в каждый момент времени смещается лишь относительно небольшое количество атомов;
- б) сдвигообразование в кристалле под действием внешней силы представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения;
- в) модуль сдвига меньше модуля Юнга.

3. Поляризуемостью называют физическую величину, равную:

- а) отношению электрического поля к объему диэлектрика;
- б) отношению диэлектрической проницаемости к плотности диэлектрика;
- в) отношению электрического момента диэлектрика к его объёму.

4. Подвижностью носителей заряда называют:

- а) отношение средней скорости дрейфа к напряженности электрического поля;
- б) произведение длины свободного пробега и скорости дрейфа;
- в) ускорение носителя заряда, вызванное электрическим напряжением 1 В.

5. Что такое электронно-дырочный переход?

- а) контакт между металлами с разной работой выхода электронов;
- б) контакт между полупроводником проводимости n - типа и металлом;
- в) граница между областями с проводимостью p - и n - типа в полупроводнике;
- г) переход электрона в зону проводимости и образование дырки в валентной зоне.

6. Что называют истоком (1), стоком (2), затвором (3), каналом (4) полевого транзистора?

- а) электрод, к которому движутся носители;
- б) электрод, от которого начинается движение носителей;
- в) область между переходами;
- г) электрод, изменение напряжения на котором, вызывает изменение тока стока I_c

7. Высокотемпературные сверхпроводники:

- а) $BaPb - xBi_xO_3$ ($0 \leq x \leq 0.3$);
- б) $Nb_3Al_{1-x}Ge_x$;
- в) $YBa_3Cu_2O_7$;
- г) $YBa_2Cu_3O_7$;
- д) $Ln_2Ba_3Cu_5O_{12}$;
- е) Nb_3Sn ;
- ж) $YBa_2Cu_3F_2O_5$.

8. Соединения $A^{IV}B^{IV}$:

- а) GaAs;
- б) SiC;
- в) GeS;
- г) ZnSe.

9. Углеродные нанотрубки – это:

- а) углепластики с линейным расположением углеродных волокон;
- б) упаковка линейных цепочек углерода;
- в) протяженные цилиндры, образованные свёрнутыми графитовыми листами.

10. Приведите кристаллические решетки фуллеренов (а), фуллеритов (б), фуллеридов A_3C_{60} (в), фуллеридов A_6C_{60} (г).

11. Какие активные диэлектрики Вы знаете?

- а) сегнетоэлектрики;
- б) магнитоэлектрики;
- в) сверхпроводящая керамика;
- г) пьезоэлектрики;
- д) электреты;
- е) электростаты;
- ж) материалы твердотельных лазеров;
- з) жидкие кристаллы;
- и) нанодиэлектрики.

12. Предельной петлей гистерезиса называется петля, полученная:

- а) при максимальном H ;
- б) при индукции насыщения;
- в) при минимальных потерях энергии

13. Материалы с ППГ – это:

- а) монокристаллические магнитные материалы, петля гистерезиса которых имеет коэффициент прямоугольности $K_{py} \geq 0,85$;
- б) поликристаллические магнитные материалы, петля гистерезиса которых имеет коэффициент прямоугольности $K_{py} \geq 0,85$;
- в) аморфные магнитные материалы, петля гистерезиса которых имеет коэффициент прямоугольности $K_{py} \geq 0,5$.

14. Конденсатор – это радиоэлемент, состоящий из:

- а) контакта двух ПП различной проводимости;
- б) двух металлических обкладок, разделенных диэлектриком,
- в) металлической и ПП обкладок, разделенных диэлектриком.

15. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки. Определите индексы Миллера этой плоскости, если $k = 1$; $l=2$; $m = 3$.

- а) (423);
- б) (623);
- в) (111);
- г) другое.

16. Определить $U_{\text{пор}}$ и толщину канала Z МДП – транзистора с индуцированным каналом n -типа при комнатной температуре при заданных концентрациях примеси и собственных носителей в подложке N_a и n_i , $\epsilon_n = 12$, если концентрация примеси $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а концентрация собственных носителей $n_i = 10^{10}$.

- а) 20 нм;
- б) 310 нм;
- в) 100 нм;
- г) другое.

Вариант 2

1. Химические связи между атомами вещества бывают:

- а) ионные;
- б) кристаллические;
- в) ковалентные;
- г) металлические;
- д) полимерные;
- е) молекулярные.

2. Примеси оказывают существенное влияние на электрические свойства твёрдых тел,

- а) повышая электрическое сопротивление полупроводников;
- б) понижая электрическое сопротивление металлов;
- в) создавая в полупроводниках новые электрические уровни и приводя к появлению примесной проводимости;
- г) понижая проводимость металлов.

3. Электрический ток в металлах – это направленное движение (дрейф):

- а) заряженных частиц;
- б) ионов;
- в) электронов;
- г) электронов и дырок.

4. Уровень Ферми — это такой энергетический уровень:

- а) который у собственных полупроводников расположен в зоне проводимости;
- б) вероятность заполнения которого при температуре, отличной от абсолютного нуля, равна $1/2$;
- в) вероятность заполнения которого при температуре, отличной от абсолютного нуля, равна 1 ;
- г) который у всех полупроводников расположен в валентной зоне.

$I = 5I_0$. Полный ток I , протекающий через р-п-переход равен:

- а)
- б)
$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{KT}\right) - 1 \right];$$
- в)
$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{KT}\right),$$

где I_0 — ток неосновных носителей;

e — заряд электрона;

U — внешнее напряжение;

K — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура.

6. Какой полевой транзистор называют МДП-транзистором?

- а) у которого между металлическим затвором и проводящим каналом находится диоксид кремния;
- б) у которого между металлическим затвором и проводящим металлическим каналом нанесена тонкая полимерная пленка;
- в) у которого между металлическим затвором и проводящим каналом находится диэлектрик.
- г) ток обусловлен движением электронов и дырок, а его изменение происходит под действием электрического поля, создаваемого внешним источником.

7. Криопроводники — это:

- а) материалы, у которых выше $T_{св}$ в сотни и тысячи раз возрастает ρ ;
- б) материалы, у которых появляется проводимость ($\rho = 10^{-6}$ Ом·м) ниже $T_{св}$;
- в) материалы, у которых резко падает ρ (до 10^{-8} Ом·м) в области отрицательных температур;
- г) материалы, которые при $T > T_{св}$ обладают очень низким значением ρ (в сотни и тысячи раз меньшего, чем при комнатной температуре).

8. Приведите примеры некоторых соединений $A^{III}B^V$:

- а) GaP;
- б) CdS;
- в) SiC;
- г) GaAs;
- д) PbTe;
- е) InSb.

9. Кристаллический алмаз используется в РЭА для:

- а) подложек ИМС;
- б) силовых приборов;
- в) детекторов жестких излучений;
- г) фотоприемников;
- д) светодиодов;
- е) биосенсорики.

10. К ионным сегнетоэлектрикам относятся:

- а) NaNO_3 ;
- б) BaTiO_3 ;
- в) LiNbO_3 ;
- г) KH_2PO_4 ;
- д) PbTiO_3 .

11. Магнитная анизотропия — это:

- а) нелинейная зависимость B от H ;
- б) зависимость намагничивания от направления;
- в) зависимость потерь энергии от направления

12. Материалы с ППГ используются в устройствах:

- а) оптоэлектроники;

- б) автоматики;
- г) связи;
- д) на ПАВ;
- е) вычислительной техники.

13. Конденсаторы бывают:

- а) постоянные;
- б) непостоянные;
- в) регулировочные;
- г) подстроечные;
- д) воздушные;
- е) ПП;
- ж) бумажные;
- з) ситалловые;
- и) керамические;
- к) на основе барьера Шоттки;
- л) пленочные;
- м) электролитические;
- н) стеклоэмалевые.

14. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре, если материал — латунь, скорость продольных волн $C_l = 3500$ м/с, скорость поперечных волн $C_t = 2000$ м/с, плотность латуни $\rho = 9000$ кг/м³.

E	G
а) 200 ГПа;	а) 200 ГПа;
б) 70 ГПа;	б) 360 МПа;
в) 20 МПа;	в) 36 ГПа;
г) другое.	г) другое.

15. На рис. 10.1 представлена стокозатворная характеристика полевого транзистора с управляющим р-п-переходом КП302 с параметрами хода $N_g = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3} = n_i = 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Определите ширину р-п-перехода транзисторов d при комнатной температуре. $\varepsilon = 12$, если $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $n_i = 10^{12} \text{ см}^{-3}$, а напряжение отсечки равно $U_{отс} = -2$:

- а) 20 нм;
- б) 1,8 мкм;
- 100 нм;
- г) другое

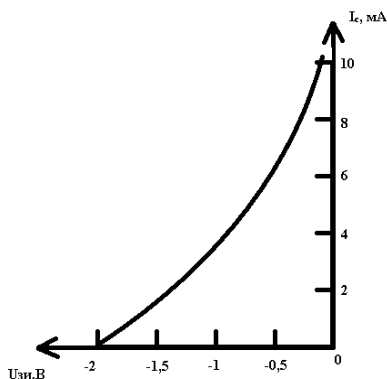


Рис 10.1

Вариант 3.

1. Структура твердых тел бывает:

- а) полупроводниковая;
- б) монокристаллическая;
- в) поликристаллическая;
- г) металлическая;
- д) аморфная;
- е) смешанная.

2. Упрочнение кристаллов связано с необратимостью процессов, вызванным:

- а) перемещением атомов и отдельных частей кристалла друг относительно друга;
- б) увеличением внутренней энергии твердого тела;
- в) процессом рекристаллизации.

3. Аналитическое выражение закона Ома:

- а) плотность тока J не зависит от напряженности электрического поля E ;
- б) J пропорциональна E ;

- в) J обратно пропорциональна E ;
- г) J пропорциональна сопротивлению.

4. Как изменяется концентрация носителей заряда с ростом температуры?

- а) не изменяется;
- б) возрастает;
- в) убывает.

5. Чему равна контактная разность потенциалов U_k в германиевых и кремниевых переходах соответственно?

- а) 0,3–0,4 В; 0,7–0,4 В;
- б) 80–100 В; 10–20 В;
- в) 50–60 мкВ; 100 мВ.

6. Металлами высокой проводимости являются;

- а) серебро;
- б) молибден;
- в) медь;
- г) вольфрам;
- д) алюминий.

7. Твердые растворы на основе АШВУ бывают:

- а) растворами внедрения;
- б) растворами замещения;
- в) механическими смесями.

8. Аморфные полупроводники – это:

- а) аморфные твердые тела с тетраэдрическими связями;
- б) аморфные металлы;
- в) металлы;
- г) халькогенидные стекла;
- д) органические материалы;
- е) аморфные магнитодиэлектрики;
- ж) гибридные полимерно-твердотельные материалы (ГПТМ);
- з) стекла, основным компонентом которых являются элементы V группы.

9. Диэлектрики – это материалы, у которых:

- а) есть способность к поляризации;
- б) 10^{-6} Ом м;
- в) $> 10^{12}$ Ом м;

г) $\Delta\mathcal{E} = 0.5 \text{ эВ}$;

д) $\Delta\mathcal{E} > 3 \text{ эВ}$.

10. Монокристаллические пьезоэлектрики:

а) SiO_2 ;

б) AlN ;

в) ZnO ;

г) LiNbO_3 ;

д) NH_4PO_4 .

11. Магнитомягкие (1) и магнитотвёрдые (2) материалы обладают свойствами:

а) $H_c < 800 \text{ А/м}$;

б) $H_c > 4000 \text{ А/м}$;

в) большая;

г) высокая B_s .

12. Тонкие магнитные пленки (ТМП) – это:

а) слои магнитного вещества толщиной $0,1 - 1 \text{ мкм}$, нанесенные на немагнитную подложку физическими методами;

б) тонкие ($20-30 \text{ мкм}$) магнитные ленты на основе лавсана;

в) монокристаллические слои магнитного вещества, толщиной $1-10 \text{ нм}$, выращенные на поликристаллической магнитной подложке.

13. Основные электрические параметры конденсаторов:

а) номинальное значение емкости;

б) номинальное значение мощности;

в) сопротивление на частоте 1 кГц ;

г) класс точности;

д) максимальный ток;

е) рабочее напряжение;

ж) ТКЕ;

з) диэлектрическая проницаемость;

и) допустимая реактивная мощность;

к) тангенс угла потерь.

14. Определите коэффициент теплопроводимости металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях, если металл — алюминий, удельная проводимость $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

- а) $250 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;
- б) $10 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$;
- в) $100 \text{ Вт/ м} \cdot \text{К}$;
- г) другое.

15. На пластину GaAs определённой толщины h подано заданное постоянное напряжение U . Определите частоту электрических колебаний при $\mu = 3000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, если напряжение $U = 3 \text{ В}$, толщина пластины $h = 10 \text{ мкм}$:

- а) 1 ГГц ;
- б) 100 МГц ;
- в) 150 ГГц ;
- г) другое.

Вариант 4

1. Кристаллическая решетка — это:

- а) решетка, атомы которой проявляют определенную закономерность хотя бы на микроскопических участках;
- б) решетка, создать которую можно путем трансляции атомного узла по кристаллографическим направлениям;
- в) решетка, которой удобно пользоваться для описания правильной внутренней структуры кристаллов;
- г) решетка, атомы которой расположены в определенном порядке.

2. Тепловая энергия твердого тела складывается:

- а) из коллективного движения в форме упругой волны, охватывающей все частицы кристалла;
- б) из энергии только нормальных колебаний решетки;
- в) только из тепловой энергии свободных электронов.

3. Закон Видемана-Франца-Лоренца формулируется так:

- а) отношение теплопроводности металлов λ к их электропроводности σ пропорционально температуре T ;
- б) отношение λ к σ не зависит от T ;
- в) произведение λ и σ пропорционально T ;
- г) λ не связана с σ .

4. Как изменяется проводимость полупроводников при увеличении температуры?

- а) возрастает;
- б) не изменяется;
- в) убывает.

5. Выпрямительный диод – это полупроводниковый прибор:

- а) предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный в силовых цепях, плоскостной с несимметричным р-п-переходом на основе германия или кремния;
- б) предназначенный для получения прямоугольных импульсов, точечный, с плавным р-п-переходом на основе арсенида галлия;
- в) предназначенный для выравнивания АЧХ, плоскостной, с симметричным р-п-переходом на основе кремния;
- г) предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный в силовых цепях, точечный с несимметричным р-п-переходом на основе германия или кремния.

6. Как различается и маркируется медь по механическим свойствам:

- а) твердая неотожженная (МТ);
- б) твердая отожженная (МТО);
- в) мягкая неотожженная (МНТ);
- г) мягкая отожженная (МН).

7. Какие полупроводниковые соединения $A^{II}B^{VI}$ вы знаете?

- а) сульфид цинка;
- б) сульфид германия;
- в) теллурид германия;
- г) сульфид кадмия;
- д) селенид ртути.

8. Стекла используются в:

- а) лазерах;
- б) электрофотографии;
- в) элементах ИМС;
- г) переключающих и запоминающих устройствах;

д) фотоумножителях.

9. Диэлектрики бывают:

- а) активные;
- б) пассивные;
- в) магнитные;
- г) полупроводниковые.

10. Электретом называют:

- а) микрофон;
- б) диэлектрик, длительное время сохраняющий поляризацию;
- в) диэлектрик, обладающий пьезоэффектом.

11. Ферриты – это:

- а) оксидные магнитные материалы;
- б) металлокерамика;
- в) парамагнетики;
- г) ферримагнетики;

12. Магнитострикционные материалы (МСМ) — это ферромагнитные материалы, у которых:

- а) меняются размеры при перемагничивании;
- б) меняются размеры при воздействии электромагнитного поля;
- в) меняются магнитные свойства под влиянием механических напряжений;
- г) возникает СВЧ-излучение под влиянием механических напряжений.

13. Конденсаторы применяются для:

- а) питания РЭА;
- б) разделения переменной и постоянной составляющей тока;
- в) выпрямления переменного тока;
- г) колебательных контуров и фильтров;
- д) накопления электромагнитной энергии;
- е) накопления электрической энергии.

14. При выполнении лабораторной работы по изучению теплового расширения твердых тел при нагреве на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5\text{ см}$. Определите коэффициенты линейного α и объёмного

β расширения, если материал — медь, приращение длины образцов $\Delta L = 16$ мкм.

а) $50 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$;

б) $17 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$;

в) $3 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$;

г) другое.

15. В схеме стабилизации напряжения на нагрузке определите сопротивление нагрузки и мощность, выделяемую на ней при использовании разных стабилитронов, если напряжение стабилизации $U_{ст} = 9$ В, ток стабилизации $I_{ст} = 10$ мА.

R_H	P
а) 1,2 кОм;	а) 0,2 Вт;
б) 400 Ом;	б) 10 Вт;
в) 1 Вт;	в) 1 Вт;
г) другое.	г) другое.

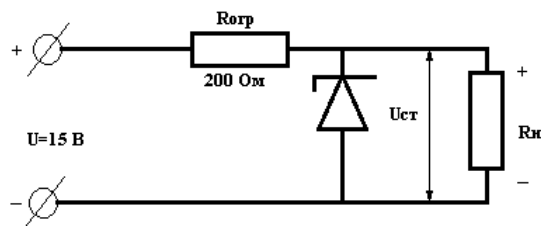


Рис. 10.2

Вариант 5

1. Примесными называют полупроводники, в которых:

а) концентрация примесей меньше 10^{12} м^{-3} ;

б) электрические свойства определяются примесями;

в) можно пренебречь влиянием примесей при комнатной температуре.

2. Теплоемкость твердого тела при постоянном объеме выражает:

а) изменение температуры при увеличении мощности нагревателя на 1 Вт;

- б) изменение тепловой энергии при изменении температуры тела на 1°C ;
- в) изменение спектра нормальных колебаний частиц кристалла;
- г) количество тепла, переносимого через единицу площади за 1 с.

3. Удельное сопротивление металлов в интервале температур от комнатных до близких к точке плавления:

- а) не зависит от T ;
- б) линейно увеличивается с ростом T ;
- в) уменьшается с ростом T ;
- г) растет экспоненциально при температурах выше комнатных.

4. Фотопроводимость – это:

- а) возникновение электропроводности полупроводника под действием света;
- б) изменение подвижности носителей под действием рентгеновского излучения;
- в) увеличение электропроводности под действием электромагнитного излучения.

5. Полупроводниковый стабилитрон или опорный диод – это:

- а) плоскостной германиевый диод, предназначенный для стабилизации частоты ВЧ – колебаний;
- б) точечный диод на основе арсенида галлия, служащий для стабилизации малых токов;
- в) плоскостной кремниевый диод, предназначенный для стабилизации уровня постоянного напряжения;
- г) предназначенный для получения прямоугольных импульсов, точечный, с плавным р-п-переходом на основе арсенида галлия.

6. Благородные металлы – это:

- а) медь;
- б) олово;
- в) золото;
- г) платина;

- д) железо;
- е) палладий;
- ж) молибден.

7. Какие твердые растворы $A^{II}B^{VI}$ Вы знаете?

- а) $ZnS-CdS$;
- б) $ZnS-ZnSe$;
- в) $PbS-SnS$;
- г) $PbTe-SuTe$;
- д) $CdTe-HgTe$.

8. Стекла используются в:

- а) лазерах;
- б) электрофотографии;
- в) элементах ИМС;
- г) переключающих и запоминающих устройствах;
- д) фотоумножителях.

9. К диэлектрическим материалам относятся:

- а) пластмассы;
- б) сплавы;
- в) неорганические металлы;
- г) магнитодиэлектрики;
- д) активные диэлектрические материалы;
- е) сверхпроводящая керамика.

10. Материалы твердотельных лазеров:

- а) металлы;
- б) оксиды ($\alpha - Al_2O_3$, Y_2O_3);
- в) алмазы;
- г) алюминаты ($YAlO_3$);
- д) гранаты ($Y_3Al_5O_{13}$);
- е) кварц;
- ж) тетратитанаты ($BaTi_4O_9$);
- з) вольфраматы ($CaWO_4$);
- и) ниобат ($CaNbO_3$);
- к) некоторые стекла;
- л) фториды металлов.

11. Химический состав ферритов:

- а) $MnO-ZnO-Fe_2O_3$;

- б) PbTe-SnTe ;
- в) CdHgTe ;
- г) $\text{NiO-ZnO-Fe}_2\text{O}_3$.

12. Структура ферритов:

- а) объемоцентрированная;
- б) типа алмаза;
- в) типа шпинели.

13. Резисторы – это:

- а) диэлектрики, покрытые слоем резиста;
- б) сопротивления;
- в) элементы, обладающие заданным значением электрического сопротивления.

14. Катушки индуктивности бывают:

- а) с проводящим каркасом;
- б) бескаркасные;
- в) однослойные;
- г) секционированные;
- д) плоские;
- е) с диэлектрическими сердечниками;
- ж) с переменной индуктивностью.

15. Определите сопротивление нагревательных элементов при $t=300^\circ\text{C}$. Элементы представляют собой проволочные спирали диаметром $D=1$ см, диаметр провода $d=0.5$ мм, число витков $n=100$, если материал — нихром, его удельное сопротивление $\rho_0=100 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, а $\alpha_\rho=10 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

- а) 1 Ом;
- б) 640 Ом;
- в) 18 Ом;
- г) другое.

16. Определите напряжения туннельного и лавинного пробоя кремниевого диода при комнатной температуре с несимметричным р-п-переходом $N_A > N_D$, при заданных концентрация носителей заряда в р- и п- областях.

$E_{кр} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ В/м}$, $E_{Si}=12$, $\mu_n = 1400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, если концентрация натрия $N_A = 10^{19} \text{ см}^{-3}$, концентрация $N_D = 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

$U_{\text{тун}}$	$U_{\text{л}}$
а) 75 В;	а) 2 В;
б) 750 В;	б) 103 В;
в) 1 В;	в) 1,4 В;
г) другое.	г) другое.

Вариант 6

1. Решеткой с базисом называют решетку общего типа:

- а) которую можно построить трансляцией какого-либо узла по трем направлениям;
- б) содержащую частицы только в вершинах элементарной ячейки;
- в) которую можно построить трансляцией нескольких узлов, задаваемых совокупностью базисных векторов.

2. В диэлектриках перенос теплоты осуществляется:

- а) фононами и электронами;
- б) только фононами;
- в) только электронами.

3. Удельное сопротивление металлов в интервале температур от комнатных до близких к точке плавления:

- а) не зависит от T ;
- б) линейно увеличивается с ростом T ;
- в) уменьшается с ростом T ;
- г) растет экспоненциально при температурах выше комнатных.

4. Эффект Ганна – это:

- а) возникновение когерентного ИК-излучения под действием электромагнитного поля;
- б) генерация высокочастотных электрических колебаний под действием сильного постоянного электрического поля;
- в) генерация СВЧ-колебаний под действием жесткого излучения;
- г) возникновение электрического напряжения на гранях полупроводника под действием магнитного поля.

5. Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор:

- а) с тремя р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов и дырок;
- б) с двумя встречновключенными р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов и дырок;
- в) с двумя прямовключенными р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов;
- г) ток в котором создается движением электронов, а его изменение вызывает электрическое поле.

6. К сплавам высокого сопротивления относят:

- а) сплавы типа манганина;
- б) сплавы серебро-золото;
- в) сплавы железо-углерод;
- г) хромоникелевые сплавы (нихромы);
- д) оловянносвинцовые сплавы.

7. Какие твердые растворы на основе $A^{IV}B^{VI}$ вы знаете?

- а) $PbTe-SnTe$;
- б) $PbSe-SnSe$;
- в) $ZnS-CdS$;
- г) $CdTe-HgTe$;
- д) $PbS-SnS$.

8. На основе органических материалов изготавливают:

- а) светодиоды;
- б) фотодиоды;
- в) лазеры;
- г) модуляторы света.

9. Ударопрочные полимеры применяются для изготовления:

- а) прочных деталей и корпусов РЭА;
- б) подложек ГИС;
- в) печатных плат.

10. Жидкие кристаллы (ЖК) – это:

- а) растворы кристаллических веществ;
- б) аморфно-кристаллические вещества;
- в) органические вещества с анизотропными молекулами с одно- или двумерным дальним порядком;

г) кристаллические вещества с большим количеством дефектов с ближним порядком.

11. Структура ферритов:

- а) объемцентрированная;
- б) типа алмаза;
- в) типа шпинели.

12. Резисторы бывают:

- а) проволочные;
- б) намоточные;
- в) непроволочные;
- г) постоянные;
- д) непостоянные;
- е) настроечные;
- ж) переменные;
- з) подстроечные;
- и) диэлектрические;
- к) полупроводниковые (ПП).

13. Дроссели – это катушки индуктивности, обладающие:

- а) низким сопротивлением переменному и высоким постоянному току;
- б) наоборот;
- в) на НЧ — диэлектрическими сердечниками;
- г) на НЧ — металлическими сердечниками;
- д) на ВЧ — металлическими сердечниками.

14. В рамках квантовой теории электропроводности вычислите длину свободного пробега электронов в металлах при комнатной температуре при заданном удельном сопротивлении. Во всех случаях принять концентрацию свободных электронов $n = 8.45 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, если металл — олово, удельное сопротивление $\rho = 0,12 \text{ мОм} \cdot \text{м}$.

- а) 2 мкм;
- б) 50 нм;
- в) 5,5 нм;
- г) другое

15. В составе ГИС находится тонкопленочный резистор длиной $l=500$ мкм и шириной $b=50$ мкм, падение напряжения на резисторе $U=20$ В. Оптимальный температурный режим работы ГИС предполагает максимальную мощность рассеивания на резисторе $P=2$ Вт. Определить толщину h напыленной на подложку пленки резистора из различных резистивных материалов, если материал- карбид хрома, $\rho = 20 \cdot 10^{-5}$ Ом $\cdot$ м.

- а) 100 мкм;
- б) 10 мкм;
- в) 10 нм;
- г) другое.

Вариант 7

1. Для описания направления в кристалле выбирается прямая:

- а) проходящая через две точки, лежащие на осях координат;
- б) проходящая через два узла элементарной ячейки;
- в) проходящая через начало координат и однозначно определяемая индексами ближайшего к нему узла, через который она проходит.

2. В металле перенос теплоты осуществляется:

- а) фононами и свободными электронами;
- б) только фононами;
- в) только электронами;
- г) ионами.

3. Полупроводники — это вещества:

- а) заметно изменяющие свои электрические свойства под действием внешних воздействий;
- б) имеющие только аморфную структуру;
- в) ширина запрещенной зоны ΔW которых больше чем у диэлектриков;
- г) значение ρ которых меньше 10^{-5} Ом м.

4. Интенсивность падающего на полупроводник излучения I_0 уменьшается до величины I . В соответствии с законом Бугера—Ламберта:

- а) $I = I_0 \exp(-\alpha x)$;
 - б) $I = I_0 (1 - R) \exp(\alpha x)$;
 - в) $I = I_0 (1 - R) \exp(-\alpha x)$,
- где R – коэффициент отражения;
 x – расстояние от поверхности;
 α – коэффициент поглощения.

5. Какие области биполярного транзистора называются:
 1 – базой; 2 – эмиттером; 3 – коллектором?

- а) область в которую инжектируются неосновные для нее носители заряда;
- б) область, назначение которой – инжекция основных носителей;
- в) область, предназначенная для экстракции носителей.

6. Наибольшую термо-э.д.с. имеет термопара:

- а) хромель-копель;
- б) платинородий-платина;
- в) медь-константан.

7. Полупроводниковые материалы бывают:

- а) неорганические;
- б) органические;
- в) биметаллические;
- г) диэлектрические;
- д) кристаллические;
- е) аморфные;
- ж) твердые;
- з) жидкие;
- и) газообразные;
- к) магнитные;
- л) немагнитные.

8. Какие перспективные углеродные структуры Вы знаете?

- а) кристаллический алмаз;
- б) аморфный алмаз;
- в) углепластик;
- г) карбин;
- д) фуллерен;

- е) фуллерит;
- ж) сфалерит;
- з) фуллерид;
- и) эндофуллерен;
- к) сферолит;
- л) наноуглерод;
- м) нанотрубка.

9. Стекло представляет собой:

- а) полимеры в стеклообразном состоянии;
- б) твёрдое аморфное вещество, образующееся при сплавлении стеклообразующих оксидов и безоксидных соединений;
- в) оптически прозрачное вещество.

10. ЖК применяют при изготовлении:

- а) цифровых индикаторов электронных приборов;
- б) светодиодов;
- в) плазменных панелей;
- г) экранов;
- д) фоторезисторов;
- е) датчиков температуры;
- ж) датчиков ионизирующих излучений.

11. Магнитодиэлектрики (МД) – это:

- а) компоненты, состоящие из порошка ферромагнетика с изолирующей связкой;
- б) мелкодисперсные частицы ферритов в стеклянной фазе;
- в) сплавы окислов металлов.

12. Основные параметры резисторов:

- а) номинальное значение сопротивления;
- б) максимальное значение сопротивления;
- в) габариты;
- г) класс точности;
- д) номинальная мощность рассеяния;
- е) потребляемая мощность.

13. Трансформаторы – это электромагнитные устройства, имеющие:

- а) одну обмотку, предназначенную для пропуска переменного тока;

- б) две или большее число индуктивно-связанных обмоток, предназначенных для преобразования напряжения в ток;
 в) две или большее число индуктивно-связанных обмоток, предназначенных для изменения значений переменного напряжения и тока.

14. При измерении равномерности магнитной индукции в зазоре магнитной системы динамика с помощью датчика Холла, ЭДС холла U_H менялась в зависимости от перемещения датчика L вдоль керна относительно верхнего фланца магнитной системы. Определите индукцию магнитного поля в контролируемых источниках. Датчик Холла представлял собой прямоугольную пластину полупроводника с размерами $a=5$ мм; $b=3$ мм, $\delta = 1$ мм. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости датчика. Под действием напряжения $U=0.42$ В, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток, $I_a = 20$ мА. Постоянная Холла датчика $R_H = 6,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$, если перемещение датчика $L = 20$ нм, $U_H = 6,5$ мВ.

- а) 1 Тл;
 б) 0,52 Тл;
 в) 10 Тл;
 г) другое.

15. Для кремниевого варикапа с несимметричным р-п-переходом $N_a = 10^{16} \text{см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{см}^{-3}$, $N_a = 10^{16} \text{см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{см}^{-3}$, $n_i = 10^{13} \text{см}^{-3}$ определите барьерную ёмкость C_b перехода при различных обратных напряжениях $U_{обр}$ и добротность Q на частоте $f=10$ МГц и активном сопротивлении $R=1$ Ом, площадь перехода $S=1 \text{мм}^2$. Температура комнатная, если $U_{обр} = -1$ В.

C_b	Q
а) 2500 пФ;	а) 46;
б) 3200 пФ;	б) 500;
в) 17 пФ;	в) 70;
г) другое.	г) другое.

Вариант 8

1. Дефекты по Френкелю — это:

- а) появление вакансии при испарении атомов с поверхности кристалла;
- б) появление вакансии при переходе атома из узла в междоузлие;
- в) появление вакансии при переходе атома с поверхности кристалла в положение над поверхностью.

2. Тепловое расширение твердых тел происходит по причине:

- а) увеличения среднего расстояния между частицами с ростом температуры;
- б) увеличения атомных размеров с ростом температуры;
- в) ангармонического характера колебаний частиц.

3. Собственными называют полупроводники, в которых:

- а) можно пренебречь влиянием примесей при данной температуре;
- б) концентрация примесей составляет 10^{20} м^{-3} ;
- в) электрические свойства определяются примесями.

4. Что называют спектром поглощения вещества?

- а) зависимость R от длины волны облучения;
- б) зависимость α от интенсивности облучения;
- в) зависимость α от длины волны или энергии фотонов.

5. Какая схема обеспечивает максимальное усиление по мощности?

- а) ОБ;
- б) ОЭ;
- в) ОК;
- г) ОС.

6. Металлосилицидные сплавы (МЛТ) имеют состав:

- а) Si – Cr – Ni – Fe;
- б) Si – SiO₂ – Fe – Cr – Ni – W;
- в) Cu – Ni – Fe – W.

7. Кристаллические полупроводники:

- а) элементарные;

- б) бездефектные;
- в) химические соединения;
- г) твердые растворы;
- д) металлические.

8. Фуллерены – это:

- а) ограненные в виде сфер алмазы;
- б) молекулы углерода, имеющие форму замкнутой поверхности;
- в) сферы из углепластика.

9. Основную часть стекол, применяемых в РЭА составляют:

- а) силикатные;
- б) боратные;
- в) фосфатные;
- г) гранитные.

10. По реакции на внешнее магнитное поле материалы делятся на:

- а) магниты;
- б) магнетики;
- в) диамагнетики;
- г) парамагнетики;
- д) немагнетики;
- е) ферромагнетики;
- ж) ферриты;
- з) антиферромагнетики;
- и) антипарамагнетики;
- к) ферримагнетики.

11. Бариевые ферриты обладают свойствами:

- а) изотропностью (БИ);
- б) термостойкостью (БТ);
- в) стабильностью (БС);
- г) анизотропностью (БА);
- д) критичностью к механическим воздействиям;
- е) $\rho=10^4\text{-}10^7$ Ом/м;
- ж) $\rho=10^2\text{-}10^3$ Ом/м;
- з) дороговизной;

- и) НЧ;
- к) ВЧ;
- л) зависимостью от температуры.

12. Какие классы точности резисторов Вы знаете?

- а) $0(\pm 1\%)$;
- б) I ($\pm 5\%$);
- в) II ($\pm 10\%$);
- г) III ($\pm 20\%$);
- д) V ($\pm 25\%$)

13. Основные параметры катушек индуктивностей и дросселей:

- а) номинальное значение сопротивления;
- б) номинальное значение индуктивности;
- в) добротность;
- г) максимальная мощность;
- д) допустимое значение тока;

14. К пластине полупроводника длиной $l=50$ мм приложено напряжения $U=5$ В. За какое время электрон пройдёт через весь образец при заданной подвижности электронов, если полупроводник — Ge, подвижность электронов $\mu_n = 0.4 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$?

- а) 0,1 мс;
- б) 0,2 с;
- в) 1,25 мс;
- г) другое.

15. Определите контактную разность потенциалов р-п-перехода, сформированного в различных полупроводниках при комнатной температуре при заданных концентрациях акцепторных N_a , донорных атомов N_d и собственных носителей n_i , если полупроводник — GaAs, концентрация акцепторных носителей $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, концентрация донорных носителей $N_d = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и собственных носителей $n_i = 10^{11} \text{ см}^{-3}$.

- а) 1 В;
- б) 0,78 В;
- в) 0,1 В;

Вариант 9

1. Дефекты по Шоттки — это:

- а) дислокации;
- б) появление вакансии при переходе атома из узла в междоузлии;
- в) появление вакансии в узле и атома в междоузлии;
- г) границы зерен.

2. Правило Грюнайзена формулируется так:

- а) коэффициент линейного расширения α пропорционален теплоемкости;
- б) α не зависит от теплоемкости тела;
- в) α пропорционален сжимаемости и теплоемкости тела и обратно пропорционален атомному объему.

3. Примесными называют полупроводники, в которых:

- а) концентрация примесей меньше 10^{12} м^{-3} ;
- б) электрические свойства определяются примесями;
- в) можно пренебречь влиянием примесей при комнатной температуре.

4. Что такое люминесценция?

- а) тепловое излучение;
- б) электромагнитное нетепловое излучение с длительностью, превышающей период световых колебаний;
- в) электромагнитное нетепловое излучение с длительностью 10^{-15} с .

5. Полевым или униполярным транзистором называется полупроводниковый прибор, в котором:

- а) ток обусловлен движением электронов и дырок, а его изменение происходит под действием электрического поля, создаваемого внешним источником;
- б) ток создается движением электронов, а его изменение вызывает электрическое поле, создаваемое входным сигналом;
- в) ток обусловлен движением только электронов или дырок, а его изменение происходит под воздействием перпендикулярного току электрического поля, создаваемого входным сигналом;

г) с двумя прямовключенными р-п-переходами и тремя выводами, ток через который обусловлен движением электронов.

6. Сверхпроводимость - это:

- а) эффект постепенного исчезновения сопротивления ниже определенной критической температуры $T_{св}$ $\rho = 10^{-10}$ Ом;
- б) эффект внезапного уменьшения сопротивления до $\rho = 10^{-12}$ Ом·м в определенном интервале температур;
- в) эффект внезапного исчезновения сопротивления постоянному току при $T_{св}$; $\rho = 10^{-25}$ Ом·м.

7. Кремний применяют для изготовления:

- а) лазеров;
- б) планарных транзисторов и ИМС;
- в) разводки ИМС;
- г) диодов, биполярных, полевых транзисторов;
- д) сердечников трансформаторов;
- е) стабилитронов, тиристоров;
- ж) нагревателей;
- з) фоточувствительных приборов;
- и) корпусов ИМС;
- к) различных датчиков.

8. Фуллерит – это:

- а) кристаллическая аллотропная модификация углерода, состоящая из молекул C_{60} ;
- б) кристаллическая аллотропная модификация углерода, состоящая из молекул C_{70} ;
- в) кристаллическая аллотропная модификация углерода, состоящая из молекул C_{90}

9. Ситаллы – это:

- а) сплавы металлов и стекол;
- б) поликристаллические материалы, получаемые направленной кристаллизацией неорганических стекол;
- г) стеклокерамика.

10. Магнитный гистерезис – это явление:

- а) не равенства нулю B при $H=0$;
- б) отставание B от H ;

в) перемагничевания

11. Какие СВЧ – ферриты Вы знаете?

а) феррошпинели;

б) шпинели;

в) магнитодиэлектрики;

г) феррогранаты;

д) ортоферриты.

12. Что означают цвета колец: первого — желтый, второго — фиолетовый, третьего — оранжевый, четвертого — золотистый:

а) 47 Ом; 1 Вт; $\pm 0.003\%$;

б) 47 кОм; $\pm 5\%$;

в) 1.5 МОм; 10Вт; $\pm 10\%$;

г) 470 Ом; $\pm 5\%$.

13. Электролитические конденсаторы представляют собой:

а) диэлектрический корпус, заполненный жидким электролитом, с двумя электродами;

б) диэлектрический корпус, заполненный твердым электролитом, с двумя электродами;

в) класс точности;

г) ТКС.

14. Определите максимальную ширину запрещенной зоны ΔE полупроводникового фотодетектора, если он должен быть чувствительным к излучению с заданной длиной волны λ , если полупроводник – GaAs, длина волны излучения $\lambda = 900$ нм.

а) 1.4 эВ;

б) 10 эВ;

в) 16,8 эВ;

г) другое.

15. При расчете разделительного фильтра акустической системы было получено значение индуктивности $L=5$ мГн. Определите число витков катушки n при использовании стандартного каркаса длиной $l=50$ мм, площадью поперечного сечения каркаса $s=50$ мм² и цилиндрических феррито-

вых сердечников внутри каркаса различного типа , если марка феррита — 1000НМ, магнитная проницаемость сердечника $\mu = 1000$.

- а) 500;
- б) 65;
- в) 200;
- г) другое.

Вариант 10

1. К линейным дефектам относятся:

- а) дефекты по Шоттки;
- б) дефекты по Френкелю;
- в) краевые дислокации;
- г) винтовые дислокации;
- д) границы зерен.

2. Диэлектрическая проницаемость — это физическая величина, показывающая:

- а) во сколько раз увеличивается сопротивление диэлектрика при помещении его в вакуум;
- б) какое напряжение возникает на противоположных сторонах пластины диэлектрика при помещении его в электрическое поле;
- в) во сколько раз увеличивается емкость конденсатора при заполнении диэлектриком пространства между его пластинами;
- г) на какую глубину проникает в диэлектрик электрическое поле, напряженностью 1 В/м.

3. Электрический ток в полупроводниках обусловлен дрейфом:

- а) электронов;
- б) заряженных частиц;
- в) электронов и дырок;
- г) ионов.

4. Чему равна термо – ЭДС U_T ?

- а) $U_T = \alpha (T_2 - T_1)$;
- б) $U_T = dU_T / dT \cdot T_2$;

в) $U_T = \alpha T_2 / T_1$,

где α - удельная термо - ЭДС;

T_1 и T_2 – температуры контактов.

5. Какие типы полевых транзисторов вы знаете?

а) транзистор с управляющим р-п-переходом;

б) транзистор со структурой «металл-полупроводник-металл» (МПМ);

в) транзистор с управляющим переходом Шоттки;

г) транзистор со структурой «металл-диэлектрик-полупроводник» (МДП);

6. Эффект Мейснера проявляется в том, что:

а) магнитное поле при $T > T_{св}$ выталкивается из проводника при переходе в сверхпроводящее состояние;

б) под действием магнитного поля сверхпроводимость исчезает;

в) сверхпроводник I рода переходит в сверхпроводник II рода при определенной напряженности магнитного поля.

7. Германий применяют для изготовления:

а) силовых приборов с предельной температурой 200 °С;

б) детекторов ИК – и ядерных излучений;

в) ИК – лазеров;

г) оптоэлектроники;

д) изолирующих слоев ИМС;

е) датчиков Холла.

8. Фуллериды – это:

а) соединения фуллеренов с простыми элементами и комплексами;

б) эндофуллерены.

9. Радиотехническая керамика бывает:

а) ВЧ – конденсаторная;

б) НЧ – резистивная;

в) НЧ – конденсаторная;

г) ВЧ – резисторная;

д) НЧ – установочная;

е) ВЧ – установочная.

10. Коэрцитивная сила – это:

- а) сила, действующая на ферромагнетик со стороны внешнего магнитного поля;
- б) механическая сила, необходимая для размагничивания материала;
- в) напряженность размагничивающего поля, при котором индукция в намагниченном ферромагнетике обращается в ноль.

11. СВЧ – ферриты применяются в:

- а) магнитных антеннах;
- б) элементах памяти;
- в) оптических вентилях;
- г) оптических модуляторах;
- д) оптических линиях задержки.

12. Переменные резисторы (ПР) также характеризуются:

- а) максимальным R ;
- б) минимальным R ;
- в) количеством выводов;
- г) видом регулировочной характеристики;
- д) материалом корпуса;
- е) электрической прочностью.

13. Где используются катушки индуктивности (1), дроссели (2), трансформаторы и автотрансформаторы (3)?

- а) в колебательных контурах;
- б) в фильтрах;
- в) для индуктивной связи;
- г) для перестройки колебательных контуров;
- д) в блоках питания для получения нужных переменных напряжений;
- е) в фильтрах питания для получения нужных переменных напряжений;
- ж) для защиты источников питания от ВЧ – сигналов;
- з) ГИС;
- и) для согласования источника сигнала с нагрузкой;
- к) для формирования импульсов.

14. Определите емкости пленочных цилиндрических конденсаторов с различными диэлектриками. Конденсатор представляет собой свёрнутые слои алюминиевой фольги и диэлектрической пленки длиной, $a=1$ м, шириной $b=5$ см и толщиной $h=0.25$ мм, если диэлектрик — фторопласт, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2$.

- а) 100 мкФ;
- б) 35 мкФ ;
- в) 1600 пФ ;
- г) другое

15. На пластину пьезодатчика размерами 10×10 мм толщиной $h=1$ мм в направлении поляризации приложено механическое напряжение $\sigma = 10^5$ Н/м². Определить разность потенциалов на поверхностях пластины при заданных пьезомодулях, если материал пьезодатчика — LiNbO₃, $\epsilon = 80$, $d = 50 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н.

- а) 78;
- б) 18;
- в) 120 мВ;
- г) другое.

11. ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ

1. Перспективные проводниковые материалы для разводки в ИМС.
2. Нанотрубки.
3. Фуллерены и фуллериды.
4. Перспективные диэлектрические материалы подзатворного диэлектрика в МДП – ИМС.
5. Новые диэлектрические материалы для изоляции биполярных и МДП – структур.
6. Материалы молекулярной электроники.
7. Новые магнитные материалы микроэлектроники и спинотроники.
8. Расчет тонкопленочных резисторов.
9. Свойства полупроводниковых материалов на основе $A^{III}B^V$. Применения.
10. Нанoeлектронные приборы.
11. Органические материалы оптоэлектроники.
12. Физические основы работы пьезоэлектрического преобразователя.
13. Физические основы работы термопары.
14. Физические основы работы термоэлектрического модуля.
15. Физические основы работы биполярного транзистора.
16. Физические основы работы полевого транзистора.
17. Физические основы работы тиристора.
18. Физические основы работы термистора.
19. Физические основы работы диода Шотки.
20. Физические основы работы туннельного диода.
21. Физические основы работы стабилитрона.
22. Физические основы работы светодиода.
23. Физические основы работы фотодиода.
24. Физические основы работы фоторезистора.
25. Физические основы работы солнечного элемента.
26. Физические основы работы датчика Холла.
27. Физические основы работы генератора Ганна..

- 28. Физические основы работы ячеек памяти.
- 29. Физические основы работы терморезистора.
- 30. Физические основы работы опто-волоконных линий связи.
- 31. Физические основы работы сверхпроводящих линий связи.
- 32. Физические основы работы пьезоэлектрического преобразователя.

12. БИЛЕТЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА И ЗАЧЕТОВ

Билет 1

1. Виды химических связей.
2. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков.
3. Вычислите предельные частоты усиления f_α и f_β для биполярных п-р-п и р-п-р транзисторов в схемах с ОБ и ОЭ при заданных толщинах базы W , коэффициент диффузии электронов в базу $D_n = 6.3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, дырок $D_p = 3.1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, $\alpha = 0,99, W = 0,5 \text{ мкм}$.
4. Каков порядок работы на установке УВН РЭ.Э-60-002?

Билет 2

1. Структура твердых тел.
2. Электропроводимость диэлектриков.
3. Определите $U_{\text{пор}}$ и толщину канала Z МДП- транзистора с индуцированным каналом п-типа при комнатной температуре при заданных концентрациях примеси и собственных носителей в подложке N_a и n_i , $\epsilon_n = 12$, $N_a = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $n_i = 10^{10} \text{ см}^{-3}$.
4. Каков порядок измерения сопротивления тонких пленок с помощью потенциометра УПИП-60М? Объясните методику расчета их удельного сопротивления.

Билет 3

1. Кристаллические вещества.
2. Магнитные свойства твердых тел. Классификация магнитов.
3. На рисунке 12.1 представлена стокзатворная характеристика полевого транзистора с управляющим р-п-переходом КП302 с параметрами хода $Ng = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 10^{18} \text{ см}^{-3} = n_i = 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Определите ширину р-п-перехода транзисторов d при комнатной температуре. $\epsilon = 12$.

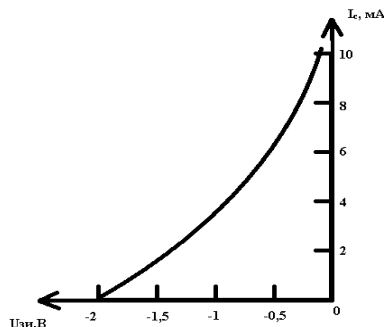


Рис. 12.1

4. Каковы назначение и устройство установки магнетронного напыления УВН-75-М?

Билет 4

1. Строение полупроводниковых кристаллов.

2. Основы статистической физики. Плотность числа состояний.

3. На рис. 12.2 приведена входная характеристика биполярного п-р-п транзистора КТ819 в схеме с ОЭ. Определите: B , I_K , $I_Э$, K_U , K_P при заданных α и R_H . Рабочую точку взять при $I_B = 800$ мА, $U_{БЭ} = 0.9$ В, $\alpha = 0.98$, $R_H = 1$ кОм.

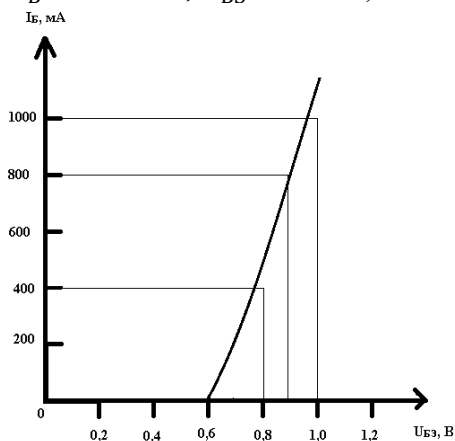


Рис. 12.2

4. Какие принципиальные трудности стоят на пути получения значительно более толстых металлических и диэлектрических пленок?

Билет 5

1. Аморфные вещества.

2. Распределение Максвелла-Больцмана и Бозе-Энштейна.

3. На пластину GaAs определенной толщины h подано заданное постоянное напряжение U . Определите частоту электрических колебаний при $\mu = 3000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}} \cdot \text{с}$, $U = 3 \text{ В}$, $h = 10 \text{ мкм}$.

4. Каково назначение и состав комплекса МУК-ФОЭ1?

Билет 6

1. Полимеры.

2. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми.

3. В схеме стабилизации напряжения на нагрузке определить сопротивление нагрузки и мощность, выделяемую на ней при использовании разных стабилитронов, напряжение стабилизации $U_{\text{ст}} = 12 \text{ В}$, ток стабилизации $I_{\text{ст}} = 10 \text{ мА}$.

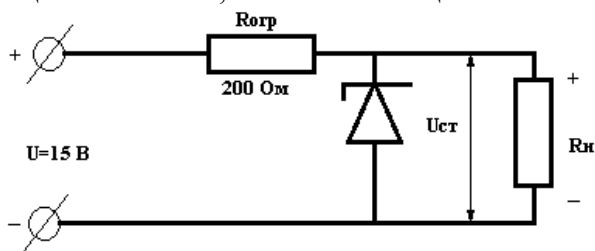


Рис. 12.3

4. Какие методы измерения ширины запрещенной зоны полупроводников Вы знаете?

Билет 7

1. Структуры и свойства пленок.

2. Электропроводность полупроводников. Собственные полупроводники. Концентрация носителей.

3. Определите напряжения туннельного и лавинного пробоя кремниевого диода при комнатной температуре с несимметричным р-п-переходом $N_a > N_d$ при заданных концентрация носителей заряда в р- и п-областях $E_{кр} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ В/м}$, $E_{si}=12$, $\mu_n = 1400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, $N_a = 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $N_g = 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

4. Как можно использовать зависимость электропроводности металлов, сплавов и полупроводников от температуры? Приведите примеры.

Билет 8

1. Углеродные наноструктуры.

2. Примесные полупроводники. Концентрация носителей. Температурные зависимости электропроводности. Зонные диаграммы.

3. В составе ГИС находится тонкопленочный резистор длиной $l=500 \text{ мкм}$ и шириной $b=50 \text{ мкм}$, падение напряжения на резисторе $U=20 \text{ В}$. Оптимальный температурный режим работы предполагает максимальную мощность рассеивания на резисторе $P=2 \text{ Вт}$. Определите толщину h , напыленной на подложку пленки резистора из различных резистивных материалов, материал — кермет, $\rho=10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

4. Укажите на ВАХ диодов прямую и обратную ветвь. Почему ток в прямом включении больше обратного.

Билет 9

1. Механические свойства твердых тел.

2. Фотопроводимость полупроводников.

3. Для кремниевого варикапа с не симметричным р-п-переходом $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $N_g = 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и $n_i = 10^{13} \text{ см}^{-3}$ определите барьерную емкость C_b перехода при различных обратных напряжениях $U_{обр}$ и добротность Q на частоте $f = 10 \text{ МГц}$ и активном сопротивлении $R = 1 \text{ Ом}$, площадь перехода $S = 1 \text{ мм}^2$. Температура комнатная $U_{обр} = 0$.

4. Как определяется $I_{обр}$ и $U_{пр}$?

Билет 10

1. Теплопроводность твердых тел.

2. Контактные явления в полупроводниках. Контакт металл—полупроводник. Зонная диаграмма.

3. При расчете разделительного фильтра акустической системы было получено значение индуктивности $L=5$ мГн. Определить число витков катушки n при использовании стандартного каркаса длиной $l=50$ мм, площадью поперечного сечения каркаса $s=50$ мм² и цилиндрических ферритовых сердечников внутри каркаса различного типа, марка феррита — 400НН, $\mu = 400$.

4. Приведите ВАХ диода Шотки. В чем заключается особенность ВАХ по сравнению с ВАХ полупроводниковых диодов?

Билет 11

1. Диффузия.

2. Эффект Ганна. Приборы на основе эффекта.

3. Определите контактную разность потенциалов р-п-перехода, сформированного в различных полупроводниках при комнатной температуре при заданных концентрациях акцепторных N_a , донорных атомов N_d и собственных носителей n_i , полупроводник — Si, $N_a = 10^{16}$ см⁻³, $N_d = 10^{18}$ см⁻³, $n_i = 10^{13}$ см⁻³.

4. Порядок работы со стендом СЗ-ТТ02

Билет 12

1. Основы зонной теории твердых тел.

2. Оптические явления в полупроводниках.

3. При определении полярности подключения динамического громкоговорителя на него было подано постоянное напряжение $U=5$ В. Определите смещение ΔL излучающей диафрагмы, жестко связанной с катушкой, которая перемещается в зазоре магнитной системы при заданном значении магнитной индукции B . Катушка намотана на каркасе диаметром $D=2$ см медным проводом диаметром $d=0,2$ мм и содержит $n=200$ витков. Диафрагма подвешена на гибком подвесе из пенополиуретана длиной $L=15$ мм, площадью поперечного сечения $S = 10^{-4}$ м², модулем Юнга $E=10^6$ Па.

$\rho_{\text{меди}} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, магнит — феррит-барий 1, магнитная индукция $B = 1 \text{ Тл}$.

4. Объясните физический смысл и порядок определения h-параметров в схеме с ОБ.

Билет 13

1. Проводники, полупроводники и диэлектрики в световой теории.

2. Эффект Холла.

3. От аккумулятора $U = 12\text{В}$ в воздухе проведена двухпроводная параллельная линия передачи к электрической лампочке с сопротивлением нити накаливания $R_n = 10 \text{ Ом}$. Длина линии $l=100 \text{ м}$, диаметр проводов $d = 1 \text{ мм}$, расстояние между проводами $a=20 \text{ см}$. Будут ли взаимодействовать провода линии, куда будет направлена сила взаимодействия, чему она равна, если материал проводов — медь, удельное сопротивление меди $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$?

4. Как изменится ток коллектора при увеличении тока базы на 10 мкА , если $\alpha=0,95$?

Билет 14

1. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков.

2. Образование и свойства p-n перехода. Зонные диаграммы.

3. На пластину пьезодатчика размерами $10 \times 10 \text{ мм}$, толщиной $h=1 \text{ мм}$ в направлении поляризации приложено механическое напряжение $\sigma = 10^5 \text{ Н/м}^2$. Определите разность потенциалов на поверхностях пластины при заданных пьезомодулях. Материал пьезодатчика — кварц, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 10$, $d = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ Кл/Н}$.

4. Проведите сравнительный анализ характеристик и параметров транзисторов КТ818 и КТ819. Какова цель разработки комплементарных p-n-p и n-p-n структур?

Билет 15

1. Магнитные свойства твердых тел. Классификация магнитов.

2. Полупроводниковые диоды, классификация, методы изготовления.

3. Оцените рабочие напряжения плёночных пусковых конденсаторов с различными типами и толщинами диэлектрических плёнок h , диэлектрик – полипропилен, $E_{пр}=25$ мВ/м, $h = 500$ мкм.

4. Какие материалы установлены в измерительной камере ИК1-2?

Билет 16

1. Структура биполярных транзисторов и принцип действия.

2. Светодиоды.

3. Определите ёмкости плёночных цилиндрических конденсаторов с различными диэлектриками. Конденсатор представляет собой свернутые слои алюминиевой фольги и диэлектрической плёнки длиной $a=1$ м, шириной $b=5$ см и толщиной $h=0.25$ мм, диэлектрик — полипропилен, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2,5$.

4. Как определяется энергия активации носителей заряда диэлектриков из Ваших экспериментальных данных?

Билет 17

1. Полевые транзисторы. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом.

2. Переход от микро- к нанoeлектронике. Кванторазмерные характеристики и объекты.

3. Определите максимальную ширину запрещенной зоны ΔE полупроводникового фотодетектора, если он должен быть чувствительным к излучению с заданной длиной волны $\lambda\tau$, полупроводник – Ge, длина волны $\lambda = 1800$ нм.

4. Расскажите о методике исследования электрической прочности диэлектриков с помощью генератора ГНВ1 и измерительной камеры ИК2-1.

Билет 18

1. МДП – транзисторы.

2. Лазеры.

3. К пластине полупроводника длиной $l=50$ мм приложено напряжение $U=5$ В. За какое время электрон пройдет через весь образец при заданной подвижности

электронов, если полупроводник – Si, подвижность электронов $\mu_n = 0.15 \text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

4. Расскажите о порядке работы с прибором ИСХ1.

Билет 19

1. Проводниковые материалы, классификация.

2. Углеродная электроника.

3. При измерении равномерности магнитной индукции в зазоре магнитной системы динамика с помощью датчика Холла, ЭДС холла U_H менялась в зависимости от перемещения датчика L вдоль керна относительно верхнего фланца магнитной системы. Определите индукцию магнитного поля в контролируемых источниках. Датчик Холла представлял собой прямоугольную пластину полупроводника с размерами $a=5 \text{ мм}$; $b=3 \text{ мм}$, $\delta = 1 \text{ мм}$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости датчика. Под действием напряжения $U=0.42 \text{ В}$, приложенного вдоль образца, по нему протекает ток $I_a=20\text{мА}$. Постоянная Холла датчика $R_H=6,25 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$, $L = 10 \text{ нм}$, $U_H = 6,25 \text{ мВ}$.

4. Как определяются основные параметры петли гистерезиса сегнетоэлектриков?

Билет 20

1. Проводниковые наноматериалы. Композиты на основе проводящих наночастиц.

2. Резисторы. Тонкопленочные резисторы.

3. В рамках квантовой теории электропроводности вычислите длину свободного пробега электронов в металлах при комнатой температуре при заданном удельном сопротивлении. Во всех случаях принять концентрацию свободных электронов $n=8.45 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, металл – медь, $\rho = 0,017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

4. Каким образом определяется температура Кюри?

Билет 21

1. Полупроводниковые (ПП) материалы, классификация.

2. Конденсаторы. Конденсаторы для ИМС.

3. Определите концентрацию электронов и дырок в собственном полупроводнике и в полупроводниковом кристалле, содержащем N атомов примеси, если полупроводниковый материал — Si, а примесь — сурьма.

4. Как определяются основные параметры петли гистерезиса сегнетоэлектриков?

Билет 22

1. Перспективные ПП – структуры.

2. Катушки индуктивности. Трансформаторы.

3. Определите сопротивление нагревательных элементов при $t=300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Элементы представляют собой проволочные спирали диаметром $D=1\text{ см}$, диаметр провода $d=0.5\text{ мм}$, число витков $n=100$, материал — манганин, $\rho_0 = 40 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\alpha_p = 1 \cdot 10^{-3}\text{ К}^{-1}$.

4. Расскажите о получении петли гистерезиса ферромагнетика с помощью прибора ИСХ1 и стенда СЗ-РМ01.

Билет 23

1. Наноструктурированные магнитные материалы. Супер-парамагнетизм.

2. Интегральные микросхемы (ИМС).

3. При выполнении лабораторной работы по изучении теплового расширения твердых тел при нагреве на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ было зафиксировано приращение длины образцов ΔL . Образцы различных материалов представляли собой стержни длиной $L = 5\text{ см}$. Определите коэффициенты линейного α и объёмного β расширения, материал — алюминий, $\Delta L = 24\text{ мкм}$.

4. Расскажите о получении петли гистерезиса ферромагнетика с помощью прибора ИСХ1 и стенда СЗ-РМ01.

Билет 24

1. Материалы и приборы молекулярной электроники.

2. Нанотранзисторы.

3. Определите коэффициент теплопроводимости металлов при комнатной температуре при заданных удельных сопротивлениях, металл – алюминий, $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$.

4. Расскажите об определении индукции и напряженности магнитного поля B_m и H_m в ферромагнетике по кривой начального намагничивания. Как вычисляется магнитная проницаемость μ ?

Билет 25

1. Активные диэлектрики. Сегнетоэлектрики. Применение в функциональной электронике.

2. Оптоэлектронные наноразмерные устройства.

3. Определите модули Юнга E и сдвига G стержня при заданных скоростях продольных C_l и поперечных C_t волн и плоскостях при комнатной температуре, материал — алюминий, $C_l = 5000$ м/с, $C_t = 3000$ м/с, $\rho = 3000$ кг/м³.

4. Как определяется исследование температурной зависимости μ феррита с помощью прибора ЛСМ1 и камеры ИК1-4?

Билет 26

1. Материалы для подложек, разводки и изоляции ИМС.

2. ПП соединения

3. Плоскость пересекается с осями координат в точках $x=k \cdot a$; $y=l \cdot a$; $z=m \cdot a$, где a – постоянная кубической решетки. Определите индексы Миллера этой плоскости, $k=1,5$, $l=3$, $m=2$.

4. Каким образом рассчитывается начальная магнитная проницаемость μ_n и температурный коэффициент магнитной проницаемости ТК μ_n ?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что настоящее учебное пособие составлено таким образом, что осуществляет не только функцию различного контроля и оценки знаний и компетенций, но и в не меньшей степени образовательные функции. Это достигается с помощью использования рекомендованной литературой, широким использованием графического, иллюстративного, справочного материала в виде таблиц с основными свойствами радиоматериалов и радиоэлементов, приведением основных уравнений и формул.

Материал в учебном пособии излагается без рассмотрения глубоких физических процессов, протекающих в радиоматериалах и радиокомпонентах и применения сложного математического аппарата, поскольку эти вопросы глубоко изучаются в других дисциплинах. Поэтому в пособии основное внимание уделяется заданиям, связанным с особенностями структуры и свойств проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных радиоматериалов и основных радиоэлементов. Учебное пособие может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании, изучении дисциплины «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Материаловедение и материалы РЭС», «Материалы и компоненты РЭС», «Материалы и компоненты ЭС» при дистанционном обучении.

Будущее электронного материаловедения – освоение нанотехнологий, получение на их основе материалов с параметрами, близкими к идеальным, создание приборов, работающих на совершенно новых принципах, а также освоение новых областей электроники. К ним относятся наноэлектроника, функциональная электроника, акустоэлектроника, криотроника, бионика и др.

Настоящее учебное пособие очевидно не может охватывать весь широкий класс радиоматериалов. Бурное развитие микро-, а в последние годы наноэлектроники привело к постоянному поиску, разработке и синтезу новых перспективных

материалов с уникальными свойствами. Настоящий прорыв в этом направлении связан с появлением и развитием нанотехнологий. Число публикаций в этой области постоянно растет, практически каждый день появляется новая информация о получении, свойствах и применении ранее предсказанных и смоделированных материалов и структур. Наряду с классическими радиоматериалами синтезировано большое число разнообразных наноматериалов: наночастицы, нанопровода, нанопористые структуры, наноструктурированные поверхности и пленки, нанокристаллы, углеродные структуры, органические полимерные материалы и даже биологические объекты, включая ДНК и вирусы, на основе которых уже созданы новые радиокомпоненты. Это приводит к расширению и созданию новых разделов дисциплин и, следовательно, к появлению новых контрольных заданий и вопросов, т.е. к расширению и углублению ФОС.

Учебное пособие составлено на основе лекций и контрольных мероприятий, проводимых в Воронежском государственном техническом университете на факультете радиотехники и электроники по дисциплинам «Радиоматериалы и радиокомпоненты», «Материаловедение и материалы РЭС», «Микро- и нанотехнологии производства ЭС», «Технологические процессы реализации наноэлектронных средств».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов, А.В. Радиоматериалы. Ч. 1: Органические и неорганические диэлектрические материалы [Текст]: учеб. пособие / А.В. Чернышов. — Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. — 185 с.
2. Чернышов, А.В. Радиоматериалы. Ч. 2: Проводниковые, полупроводниковые и магнитные материалы [Текст]: учеб. пособие / А.В. Чернышов, А.С. Бадаев. — Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. — 235 с.
3. Бадаев, А.С. Физические основы микроэлектроники. Ч. 1: Физические свойства твердых тел [Текст]: учеб. пособие / А.С. Бадаев, А.В. Чернышов. — Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. — 254 с.
4. Бадаев, А.С. Физические основы полупроводников и микроэлектронной техники [Текст]: учеб. пособие / А.С. Бадаев. — Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. — 143 с.
5. Схемотехника и электроника [Текст]: учеб. пособие / И.Я. Львович, А.Т. Селезнев, Г.В. Макаров и др. — 2-е изд. перераб. и доп. — Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. — 336 с.
6. Петров, К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника [Текст]: учеб. пособие / К.С. Петров. — СПб.: Питер, 2006. — 522с.
7. Бадаев, А.С. Материалы и структуры микро- и наноэлектроники Ч 1: Проводниковые материалы [Текст]: учеб. пособие / А.С. Бадаев. — Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. — 155 с.

8. Бадаев, А.С. Радиоматериалы и радиокомпоненты: тестовые задания [Текст]: учеб. пособие / А.С. Бадаев, В.С. Цымбалюк. — Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. — 99 с. — электрон. опт. диск.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Структура и содержание дисциплины, формируемые компетенции.....	5
2. Паспорт ФОС.....	11
3. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....	14
4. Контрольные вопросы.....	18
5. Контрольные вопросы к лабораторным работам.....	38
6. Задачи	
6.1 Примеры решения задач.....	47
6.2 Задачи для самостоятельного решения.....	91
7. Вопросы к зачетам и экзамену.....	109
8. Примеры контрольных заданий для текущего контроля в 7 семестре.....	116
9. Примеры контрольных заданий для текущего контроля в 8 семестре.....	130
10. Примеры заданий для контроля остаточных знаний и комплексного экспресс-контроля сторонним экспертом.....	146
11. Темы курсовых работ.....	180
12. Билеты для экзамена и зачетов.....	182
Заключение.....	192
Библиографический список.....	194

Учебное издание

Бадаев Андрей Станиславович

РАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ
ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

В авторской редакции

Компьютерный набор О.В. Бойко

Подписано в печать 29.05.2017

Формат 60х84/16. Бумага для множительных аппаратов

Усл. печ. л. 12,1. Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 250 экз.

Заказ №

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, ул. Московский просп., 14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ

394026 Воронеж, ул. Московский просп., 14