

Министерство Российской Федерации
по связи и информатизации
Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

Материалы и компоненты электронной техники

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Новосибирск, 2019 г.

Содержание.

Введение	4
1. Основные вопросы курса.	4
Литература.	5
2. Указания к выбору вариантов задач контрольного задания.	8
3. Задачи контрольного задания	8
4. Справочный материал по курсу.....	13

Введение.

Целью курса «Материалы и компоненты электронной техники» является изучение физико-химических и электрических свойств основных групп материалов, применяемых при изготовлении радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- номенклатуру, способы получения и области применения полупроводниковых, диэлектрических, проводниковых и магнитных материалов;
- физико-химические и электрические свойства изучаемых материалов и способы управления ими;
- варианты подбора материалов для изготовления компонентов РЭА.

1. Основные вопросы курса.

1.1 Общие вопросы.

1. Основные требования, предъявляемые к электрорадиоматериалам.
2. Классификация радиоматериалов по физико-химическим свойствам.
3. Экологические аспекты технологии формирования материалов (диэлектриков, полупроводников, проводников, магнитных материалов).

1.2 Проводниковые материалы.

1. Физико-химические свойства проводниковых материалов.
2. Электро-физические параметры и характеристики проводниковых материалов.
3. Материалы с высокой удельной проводимостью. Сверхпроводники. Криопроводники. Параметры. Области применения в электронике.
4. Металлы с большим удельным сопротивлением. Параметры. Области применения.
5. Неметаллические проводники. Параметры. Области применения. неметаллических проводников.

1.3 Полупроводниковые материалы.

1. Физико-химические свойства полупроводниковых материалов.
2. Области применения полупроводниковых материалов в электронике.
3. Собственные полупроводники.
4. Примесные полупроводники.

5. Электропроводность в полупроводниках.
6. Токи в полупроводниках.
7. Влияние температуры на электропроводность полупроводников.
8. Влияние света на электропроводность полупроводников.
9. Влияние деформации на электропроводность полупроводников.
10. Влияние сильных электрических полей на электропроводность полупроводников.

1.4 Диэлектрические материалы.

1. Назначение диэлектрических материалов. Основные характеристики.
2. Виды поляризации диэлектриков.
3. Электропроводность диэлектриков.
4. Диэлектрические потери электроизоляционных материалов. Виды диэлектрических потерь.
5. Пробой диэлектриков. Виды пробоя.
6. Пассивные диэлектрики. Классификация. Область применения в электронике.
7. Активные диэлектрики. Классификация. Область применения в электронике.
8. Органические материалы. Физико-химические свойства органических материалов.
9. Области применения органических материалов в электронике.

1.5 Магнитные материалы.

1. Классификация веществ по магнитным свойствам.
2. Магнитные характеристики материалов. Модели намагничивания материалов.
3. Металлические магнитномягкие материалы. Характеристики. Области применения в электронике.
4. Металлические магнитотвердые материалы. Характеристики. Области применения в электронике.
5. Ферриты. Характеристики. Области применения в электронике.
6. Магнитодиэлектрики. Характеристики. Области применения в электронике.

1.6 Компоненты электронной техники

1. Классификация резисторов
2. Параметры резисторов и их применение.
3. Классификация катушек индуктивности.
4. Параметры катушек индуктивности и их применение.
5. Классификация емкости.

6. Параметры конденсаторов и их применение.

Литература Основная.

Фадеева Н.Е.	Материалы электронных средств. Электронный конспект лекций	2007	
1.Пасынков Н.С., Сорокин С.В.	Материалы электронной техники. В 2- т. – М.:Академия	2007	1
Дополнительная литература			
2.Петров К.С.	Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – СПб.:Питер	2004	106
3.Пасынков Н.С., Сорокин С.В.	Материалы электронной техники.- СПб.: Лань	2003	51
Электронные ресурсы			
4.Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М.	Электротехнические материалы Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние	1985	
8. Ормонт	Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников [DjVu, RUS]	1982	
	http://www.twirpx.com/file/51518/		
	http://www.predloji.ru/catalogfiles/126/86585		

2. Указания к выполнению контрольной работы.

В контрольную работу входят вопросы и задачи различной сложности, однако для их решения не требуется знаний, выходящих за рамки типовой программы и учебников по курсу «Материалы и компоненты электронной техники».

Прежде, чем приступать к решению задач, следует изучить материал соответствующего раздела учебника или конспекта лекций.

При решении задачи необходимо, прежде всего, установить, какие физические закономерности лежат в основе. Затем с помощью формул, выражающих эти закономерности, следует найти решение задачи, или ее части

в общем виде (т.е. в буквенных обозначениях), причем искомая величина должна быть выражена через заданные величины. После этого можно перейти к подстановке числовых данных, выраженных обязательно в одной и той же системе единиц. Как правило, следует пользоваться единицами системы СИ. Числовой ответ обязательно должен иметь наименование единицы измерения (размерность).

При получении числового ответа следует обращать внимание на точность окончательного результата, которая не должна превышать точности исходных величин. Большую часть задач достаточно решать с точностью до двух-трех знаков после запятой.

Необходимые для решения задач справочные данные чаще всего указаны в условиях. В отдельных случаях необходимые для решения данные можно взять из приложений, где приведены основные свойства материалов.

При решении задач и в ответах на вопросы рекомендуется чаще изображать графически температурные и частотные зависимости параметров, эквивалентные схемы, энергетические диаграммы, кристаллическую структуру материалов и т.п.

В контрольной работе каждому студенту предлагается выполнить 10 заданий, включающих задачи и вопросы, из 4 разделов курса. ***Работа будет зачтена, если положительно будут оценены минимум 7 заданий, при чем из каждого раздела должно быть выполнено хотя бы одно задание.***

Номер варианта заданий соответствует ***двум последним цифрам студенческого билета или паролю.*** Все решения сопровождаются подробными пояснениями.

3. Задачи контрольного задания

3.1 Проводниковые материалы

Задача № 3.1.1

Пленочный резистор состоит из трех участков, имеющих различные сопротивления квадрата пленки $R_1=10\text{ Ом}$; $R_2=20\text{ Ом}$; $R_3=30\text{ Ом}$. Определить сопротивление резистора.

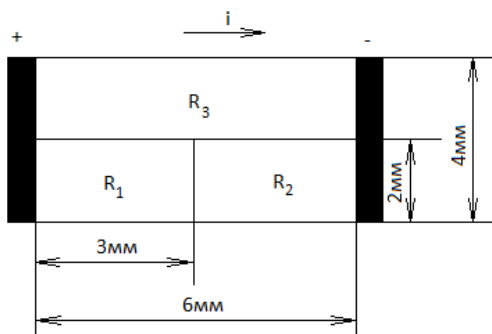


Рисунок 1

Задача № 3.1.2

Вычислить падение напряжения на полностью включенном реостате, изготовленном из константановой проволоки длиной 10 м, при плотности тока 5 А/мм². Удельное сопротивление константана принять равным 0,5 мкОм·м.

Задача № 3.1.3

Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при составляет 35 Ом. Определить температуру нити лампочки, если известно, что при ее включении в сеть напряжением 220 в установившемся режиме по нити проходит ток 0.6 А. температурный коэффициент удельного сопротивления вольфрама при 20°C можно принять равным 0,005 К⁻¹

Задача № 3.1.4

Определить длину нихромовой проволоки диаметром 0,5 мм, используемой для изготовления нагревательного устройства с сопротивлением 20 Ом при температуре 1000 °С, полагая, что при 20°C параметры нихрома: удельное сопротивление 1 мкОм·м, температурный коэффициент удельного сопротивления 0,00015 К⁻¹, температурный коэффициент линейного расширения 0,000015 К⁻¹.

Задача № 3.1.5

Медный и алюминиевый провода равной длины имеют одинаковые сопротивления. Определить отношение диаметров этих проводов. Вычислить, во сколько раз масса алюминиевого провода меньше массы медного провода.

Задача № 3.1.6

Определить температуру, до которой нагреется алюминиевый провод сечением 15 мм², длиной 1000 м, если по нему течет ток 40А.

Задача № 3.1.7

Определить падение напряжения в медной линии электропередач длиной 50 км при 50°C , сечением 10 мм² и по нему течет ток 60 А

Задача № 3.1.8

Определить длину проволоки из нихрома марки Х20Н80 для намотки проволочного резистора с номиналом 1 кОм , и допустимой мощностью рассеяния 10Вт. Принять параметры материала при 20°C : плотность тока 0,8 А/мм², удельное сопротивление 1,05 мкОм·м

3.2 Полупроводниковые материалы

Задача № 3.2.1

Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при $T=300$ К, если ширина его запрещенной зоны $\Delta W=1,12$ эВ, а эффективные Массы плотности состояний $m_c=1,05m_0$, $m_v=0,56m_0$.

Задача №3.2.2

В собственном германии ширина запрещенной зоны при температуре 300 К равна 0,665 эВ. На сколько надо повысить температуру, чтобы число электронов в зоне проводимости увеличилось в два раза? Температурным изменением эффективной плотности состояний для электронов и дырок при расчете пренебречь.

Задача 3.2.3

Почему для изготовления большинства полупроводниковых приборов требуются монокристаллические материалы и не могут быть использованы поликристаллические образцы?

Задача № 3.2.4

Определить (качественно), как будет изменяться время жизни дырок в кремнии n-типа при повышении температуры от комнатной до температуры, при которой наступает собственная электропроводность.

Задача № 3.2.5

Чем можно объяснить, что многие полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^{VI}$ проявляют электропроводность лишь одного типа, независимо от характера легирования?

Задача № 3.2.6

При легировании полупроводника донорными примесями время жизни неосновных носителей заряда уменьшилось в пять раз, а их подвижность снизилась на 30%. Определить, на сколько изменилась диффузионная длина дырок при легировании полупроводника по сравнению с нелегированным материалом.

Задача № 3.2.7

С какой целью производят выращивание эпитаксиальных слоев кремния на монокристаллических подложках при изготовлении интегральных схем?

Задача № 3.2.8

Определить, как изменится концентрация электронов в арсениде галлия, легированном цинком до концентрации $N_{Zn}=10^{22} \text{ м}^{-3}$, при повышении

температуры от 300 К до 500 К. Полагать, что при 300 К все атомы цинка полностью ионизированы.

Задача № 3.2.9

Каким типом электропроводности обладают полупроводники типа $A^{III}B^V$, легированные атомами элементов IV группы Периодической таблицы элементов?

Задача № 3.2.10

По истечении времени $t_1=10^{-4}$ с после прекращения генерации электронно-дырочных пар, равномерной по объему полупроводника, избыточная концентрация носителей заряда оказалась в 10 раз больше, чем в момент $t_2=10^{-3}$ с. Определить время жизни неравновесных носителей заряда, считая его постоянным, не зависящим от интенсивности возбуждения.

Задача № 3.2.11

Рассчитайте массу легирующей добавки мышьяка, которую необходимо ввести в пластину кремния объемом 100 мм^3 , чтобы при равномерном распределении примеси удельное сопротивление кристалла была равно $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Подвижность электронов принять равной $0,12 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Задача № 3.2.12

Объясните, почему при одинаковом содержании легирующих примесей поликристаллический кремний обладает гораздо более высоким удельным сопротивлением, чем монокристаллический материал.

3. 3 Диэлектрические материалы

Задача № 3.3.1

В чем различие между ионной и ионно-релаксационной поляризацией? Что характеризует время релаксации и от каких факторов оно зависит?

Задача № 3.3.2

Капельки воды находятся во взвешенном состоянии в трансформаторном масле. Что с ними произойдет, если масло поместить в постоянное электрическое поле?

Задача № 3.3.3

При напряжении 2 кВ плоский конденсатор, изготовленный из высокочастотного диэлектрика, имеет заряд $3,5 \times 10^{-8}$ Кл. При этом же напряжении и при повышении температуры на 100 К заряд возрастает на 1%. Определить диэлектрическую проницаемость материала и температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, если толщина диэлектрика

между пластинами конденсатора $h=2$ мм, а площадь каждой пластины $S=5$ см². Какой вывод можно сделать о наиболее вероятном механизме поляризации данного диэлектрика?

Задача № 3.3.4

Что делают с обкладками высоковольтного конденсатора после включения приложенного к нему напряжения во избежание опасности для человека? Объясните, какие процессы в диэлектрике создают эту опасность?

Задача № 3.3.5

В каких единицах выражают удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления диэлектриков? Дайте определения этих физических величин. Почему их экспериментальное определение рекомендуют проводить при постоянном, и не при переменном напряжении, а также через 1 мин после подачи напряжения на диэлектрик?

Задача № 3.3.6

При каких условиях для электроизоляционных материалов соблюдается закон Ома?

Задача № 3.3.7

Для определения природы носителей заряда в ионном диэлектрике был использован метод Тубандта. При этом были изготовлены три таблетки исследуемого диэлектрика, на две из которых с одной стороны были нанесены электроды. Каждая таблетка была тщательно взвешена, затем все таблетки были сложены, и через них в течение длительного времени пропускали постоянный ток. При полярности приложенного напряжения, указанной на рис.2, масса второй таблетки осталась неизменной, масса первой таблетки увеличилась, а масса третьей уменьшилась. Определить вид электропроводности данного диэлектрика и знак носителей заряда.

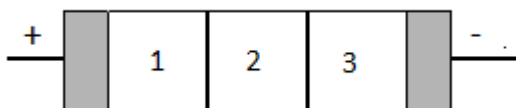


Рисунок 2

Задача № 3.3.8

В каком случае массы всех трех таблеток в опыте Тубандта (см.предыдущую задачу) останутся неизменными?

Задача № 3.3.9

Почему диэлектрические свойства газа не характеризуют значением удельного электрического сопротивления?

Задача № 3.3.10

Чему равна активная мощность рассеяния в кабеле с сопротивлением изоляции 20 Мом при постоянном напряжении 20 В?

Задача № 3.3.11

Как влияет температура на положение частотного максимума тангенса угла релаксационных потерь?

Задача № 3.3.12

Почему электрическая прочность твердых диэлектриков больше, чем жидких, а жидких - больше, чем газообразных?

Задача № 3.3.13

Электрическая проницаемость непропитанной конденсаторной бумаги и конденсаторного масла соответственно равна 35 и 20 кВ/мм. После пропитки бумаги конденсаторным маслом ее электрическая прочность возросла до 50 кВ/мм. Почему электрическая прочность пропитанной бумаги больше, чем электрические прочности непропитанной бумаги и пропитывающего диэлектрика?

Задача № 3.3.14

Одинаково ли будет изменяться пробивное напряжение воздуха, если производить его нагревание: а) при постоянном давлении; б) при постоянном объеме.

Задача № 3.3.15

Чем отличается пробой газа в однородном и неоднородном электрических полях? Каким образом в газе можно создать однородное поле? Почему при увеличении расстояния между электродами пробивное напряжение газа в однородном поле возрастает?

Задача № 3.3.16

Почему более толстые слои диэлектриков, как правило, имеют меньшую электрическую прочность?

Задача № 3.3.17

Для трех диэлектрических материалов при испытаниях в однородном электрическом поле получены приведенные на рисунке 3 зависимости пробивного напряжения от толщины. Построить (качественно) в одной системе координат зависимости электрической прочности этих материалов от толщины.

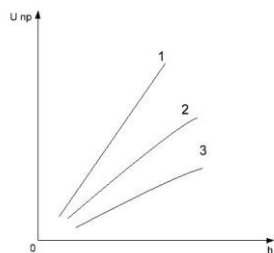


Рисунок 3

Задача № 3.3.18

Известно, что при тепловом пробое диэлектрик толщиной 4 мм пробивается при напряжении 15 кВ на частоте 100 Гц. При каком напряжении промышленной частоты пробьется такой же диэлектрик толщиной 2 мм?

Задача № 3.3.19

Для керамического опорного изолятора расчетным путем получены значения пробивного напряжения в функции от температуры окружающей среды отдельно для теплового пробоя (кривая 1 на рисунке 4) и для электрического пробоя (прямая 2). Чему равно пробивное напряжение этого изолятора и какой вид пробоя будет наблюдаться при температуре: а) T_1 ; б) T_2 ?

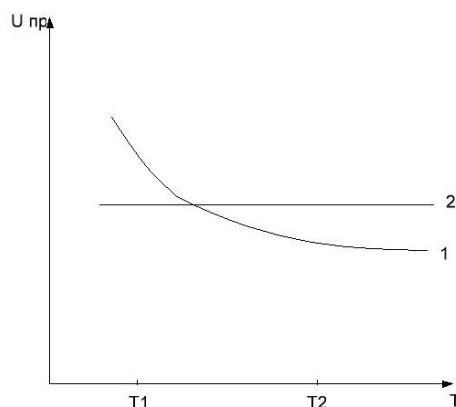


Рисунок 4

Задача № 3.3.20

Как и почему изменится пробивное напряжение воздуха при нормальном атмосферном давлении, если температуру повысить от 20 до 100 °С?

Задача № 3.3.21

Что является количественной мерой диэлектрической анизотропии нематических жидких кристаллов? В каких веществах она положительна, а в каких отрицательна?

Задача № 3.3.22

Изобразите и поясните зависимость светопропускания жидкокристаллической электрооптической ячейки, обладающей «твист»-

эффектом, от напряжения для случая, когда она заключена между двумя скрещенными поляроидами.

Задача № 3.3.23

В каких материалах и в каких условиях проявляются нелинейные оптические эффекты? Приведите примеры практического использования нелинейности оптических свойств кристаллических диэлектриков.

Задача № 3.3.24

Почему ситаллы и силикатные стекла одинакового химического состава обладают разными электрическими, механическими и теплофизическими свойствами?

Задача № 3.3.25

Почему для изоляции обмоточных проводов трансформаторов и электродвигателей используют термореактивные, а не термопластичные лаки?

Задача № 3.3.26

Что понимают под линейными и нелинейными, полярными и неполярными диэлектриками? Какие из перечисленных видов диэлектриков могут быть использованы на высоких частотах?

Задача № 3.3.27

На каких принципах основано создание термостабильной конденсаторной керамики?

Задача № 3.3.28

Керамический конденсатор емкостью 1,5 нФ при комнатной температуре имеет температурный коэффициент емкости $\alpha_c = -750 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Изобразите (качественно) температурные зависимости емкости и α_c этого конденсатора. Чему будет равна его емкость при температуре $T = -40^\circ \text{C}$?

3.4 Магнитные материалы

Задача № 3.4.1

Почему диамагнетики намагничиваются противоположно направлению вектора напряженности внешнего магнитного поля? Как влияет температура на диамагнитную восприимчивость?

3.4.2.

К какому классу веществ по магнитным свойствам относятся полупроводники кремний и германий, химические соединения $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$?

Задача № 3.4.3

Назовите основные механизмы намагничивания ферромагнетика, приводящие к нелинейной зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля.

Задача № 3.4.4

Могут ли обладать ферромагнитными свойствами сплавы, состоящие из неферромагнитных элементов?

Задача № 3.4.5

Чем отличается спиновое обменное взаимодействие в ферро- и антиферромагнетиках?

Задача № 3.4.6

Укажите, следствием какого универсального закона являются диамагнитные свойства вещества. Почему парамагнетизм, в отличие от диамагнетизма, не универсален? Как зависит диамагнитная восприимчивость химического элемента от его места в Периодической системе элементов?

Задача № 3.4.7

Какими причинами обусловлен различный характер температурных зависимостей магнитной проницаемости магнитомягкого материала, измеряемой в слабом и сильном магнитных полях?

Задача № 3.4.8

Найти 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?

Задача № 3.4.9

Определить магнитную индукцию ферромагнитного сердечника, помещенного внутрь соленоида длиной $l=20$ см с числом витков $n=800$, если по обмотке проходит ток 0,2 А, а эффективная магнитная проницаемость сердечника $\mu=200$.

Задача № 3.4.10

Определить, сколько витков необходимо намотать на магнитный сердечник длиной 100 мм и диаметром 8 мм, чтобы получить индуктивность катушки $L=10$ мГн. Магнитную проницаемость сердечника считать равной 500.

4. Справочный материал по курсу.

4.1. Общие электрические и физические свойства проводниковых материалов

Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} = E / \rho, \quad (1)$$

где j – плотность тока в материале, т.е. электрический заряд, движущийся в электрическом поле E_v за единицу времени через единицу площади.
 γ, ρ – удельная проводимость и удельное сопротивление материала соответственно.

Закон Ома в интегральной форме:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2)$$

где I – ток в материале.

U – напряжение, приложенное к материалу или его участку.

R – полное сопротивление материала.

$$R = \frac{\rho}{\lambda}, \quad (3)$$

где λ – геометрический параметр тела, называемый приведенной длиной.

Для тела с постоянным по всей длине поперечным сечением S и длиной h (например, жила провода или кабеля):

$$\lambda = \frac{S}{h} \quad (4)$$

Зависимость удельного сопротивления проводника от температуры:

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha_\rho(T - T_0)), \quad (5)$$

где α_ρ – температурный коэффициент сопротивления;

ρ_0 – удельное сопротивление проводника при температуре T_0 .

Мощность P , рассеиваемая материалом, находящимся под напряжением U при прохождении через него тока величиной I .

$$P = I \cdot U = \frac{U^2}{R} \quad (6)$$

4.2 Общие электрические и физические свойства полупроводниковых материалов

Собственные полупроводники – полупроводники, не содержащие донорных и акцепторных примесей.

В собственном полупроводнике концентрация свободных электронов и дырок одинаковы:

$$n_i = p_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{\Delta E_g}{2kT}}; \quad (7)$$

где N_C и N_V – эффективные плотности состояний электронов и дырок в зонах проводимости и валентной зоне соответственно:

$$N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} ; \quad (8)$$

$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} ; \quad (9)$$

m_e^* – эффективная масса электронов в зоне проводимости полупроводника.

m_p^* – эффективная масса дырок в валентной зоне полупроводника.

h – постоянная Планка.

k – постоянная Больцмана.

ΔE_g – ширина запрещенной зоны полупроводника.

Произведение концентраций электронов и дырок – величина постоянная для данного полупроводника при каждой конкретной температуре, это есть выражение закона действующих масс:

$$n p = n_i^2 = N_C N_V \exp \left(- \frac{\Delta E_g}{kT} \right), \quad (10)$$

где n_i – концентрация собственных носителей в полупроводнике;

Условие электронейтральности для единичного объема:

$$p + N_D = n + N_A, \quad (11)$$

где слева – положительный заряд дырок и ионизированных доноров N_D , а справа – отрицательный заряд электронов и ионизированных акцепторов N_A .

Для электронных полупроводников, не содержащих акцепторов:

$$n = N_D + p \quad (12)$$

Для дырочных полупроводников, не содержащих доноров:

$$p = N_A + n. \quad (13)$$

Плотность электронной и дырочной составляющей тока в полупроводниковом материале, во внешнем электрическом поле E :

$$j_n = \gamma_n E ; \quad (14)$$

$$j_p = \gamma_p E ; \quad (15)$$

где γ_n и γ_p – удельные электронная и дырочная проводимости полупроводника.

$$\gamma_n = en\mu_n ; \quad (16)$$

$$\gamma_p = e p \mu_p; \quad (17)$$

где μ_n и μ_p – подвижность электронов и дырок соответственно.

$$\mu_n = \frac{V_n}{E}; \quad (18)$$

$$\mu_p = \frac{V_p}{E}; \quad (19)$$

где V_n и V_p – средние скорости носителей в полупроводнике.

Соотношение Эйнштейна:

$$\mu_n = \frac{e}{kT} D_n; \quad (20)$$

$$\mu_p = \frac{e}{kT} D_p; \quad (21)$$

где D_n и D_p – коэффициенты диффузии электронов и дырок соответственно.

$$D_n = \frac{L_n^2}{\tau_n}; \quad (22)$$

$$D_p = \frac{L_p^2}{\tau_p}; \quad (23)$$

где L_n и L_p – диффузионная длина носителей; τ_n и τ_p – время жизни носителей.

Суммарная плотность тока в полупроводнике:

$$j = j_n + j_p = \gamma E = (n e \mu_n + p e \mu_p) E; \quad (24)$$

γ – удельная проводимость полупроводника.

$$\gamma = n e \mu_n + p e \mu_p; \quad (25)$$

Для собственного полупроводника, где $n_i = p_i$:

$$\gamma_{\text{соб.}} = \gamma_n + \gamma_p = n e \mu_n + p e \mu_p = e n_i (\mu_n + \mu_p); \quad (26)$$

Для электронного полупроводника где $n \gg p$:

$$\gamma_n = e n \mu_n. \quad (27)$$

Для дырочного полупроводника где $p \gg n$

$$\gamma_p = e p \mu_p. \quad (28)$$

4.3 Общие электрические и физические свойства диэлектрических материалов

К основным характеристикам диэлектриков относят.

Поляризованность диэлектрика:

$$\overline{P} = d \overline{p} / dV, \quad (29)$$

где $\overline{p}$ - вектор индуцированного электрического момента.

V – объем поляризованного диэлектрика.

Дипольный момент поляризованного диэлектрика:

$$p_n = ql, \quad (30)$$

где q – суммарный положительный (или отрицательный) заряд диэлектрика.

l - плечо диполя, то есть расстояние между положительным и отрицательным зарядами.

В диэлектрике, помещенном в переменное синусоидальное электрическое поле с напряженностью E и угловой частотой ω , возникают токи двух видов: ток смещения и ток проводимости.

Плотность тока смещения:

$$j_{cm} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon E, \quad (31)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума.

ε – диэлектрическая проницаемость материала.

Плотность тока проводимости:

$$j_{np} = \gamma_a E; \quad (32)$$

где γ_a – активная проводимость диэлектрика на угловой частоте ω .

Плотность общего тока j равна векторной сумме плотностей токов смещения и проводимости. Угол δ между векторами плотностей переменного тока диэлектрика и тока смещения на комплексной плоскости называют углом диэлектрических потерь δ . Тангенс этого угла:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{j_{np}}{j_{cm}} = \frac{\gamma_a}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon}; \quad (33)$$

Добротность диэлектрика:

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}; \quad (34)$$

Электрическая прочность диэлектрика:

$$E_{np} = \frac{U_{np}}{h}, \quad (35)$$

где U_{np} – напряжение пробоя диэлектрика.

h – толщина материала.

Удельная емкость диэлектрика:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \lambda, \quad (36)$$

где λ - приведенная длина участка изоляции (см. (4)).

Зависимость удельного сопротивления диэлектрика от температуры:

$$\rho = \rho_0 e^{-\alpha T}; \quad (37)$$

где ρ_0 –сопротивление диэлектрика при температуре окружающей среды $T_0=0^\circ\text{C}$.

α - температурный коэффициент сопротивления.

Мощность, выделяемая диэлектриком емкостью C , при подаче на него напряжения U с угловой частотой ω :

$$P_a = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta(T); \quad (38)$$

Тепловая мощность, отводимая от образца диэлектрика нагретого до температуры T :

$$P_T = \sigma S(T - T_0); \quad (39)$$

где σ – коэффициент теплоотдачи материала.

S – площадь поверхности диэлектрика.

T_0 – температура окружающей среды.

В условиях теплового равновесия: $P_T = P_a$.

Поэтому

$$U_{np} = \sqrt{\frac{\sigma S(T - T_0)}{2\pi f C \operatorname{tg} \delta(T)}}; \quad (40)$$

При этом температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь определяется формулой: $\operatorname{tg} \delta(T) = \operatorname{tg} \delta_0 e^{\alpha \operatorname{tg} \delta (T - T_0)}$, (41)

тогда

$$U_{np} = \sqrt{\frac{\sigma S(T - T_0)}{2\pi f C \operatorname{tg} \delta_0 e^{\alpha \operatorname{tg} \delta (T - T_0)}}}. \quad (42)$$

4.4 Общие электрические и физические свойства магнитных материалов

Намагниченностью материала J называется суммарный магнитный момент электронов в единице объема.

Намагниченность материала равна 0 в случае, когда он не был намагничен, и внешнее магнитное поле отсутствует. Под воздействием магнитного поля со средней напряженностью H внутри тела намагниченность равна:

$$J = \chi \cdot H, \quad (43)$$

где χ - магнитная восприимчивость.

Магнитная индукция вещества B связана с намагниченностью:

$$B = B_0 + J = B_0 + \chi \cdot H, \quad (44)$$

где B_0 – магнитная индукция вещества в отсутствии внешнего магнитного поля.

Относительная магнитная проницаемость

$$\mu = 1 + \chi / \mu_0, \quad (45)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная вакуума.

Классификация материалов по магнитным свойствам:

Материалы	Магнитная восприимчивость χ
Диамагнетики	$\chi < 0$
Парамагнетики	$\chi \approx 0$
Ферромагнетики	$\chi \gg 0$

Остаточной индукцией B_r называют индукцию, которая остается в предварительно намагниченном образце после снятия внешнего магнитного поля.

Коэрцитивная сила H_c – напряженность размагничивающего поля, которое должно быть приложено к предварительно намагниченному образцу для того, чтобы магнитная индукция в нем стала равной нулю.

Энергетические потери на гистерезис за один цикл перемагничивания, отнесенные к единице объема вещества (удельные потери):

$$p = \oint H dB; \quad (46)$$

Зависимость магнитной индукции материала от напряженности внешнего магнитного поля имеет форму петли гистерезиса.

Классификация материалов по форме петли гистерезиса:

Материал	Форма петли гистерезиса	Применение
Магнитомягкие	Узкая, округлая, небольшая площадь, $H_c \rightarrow 0$	Сердечники трансформаторов и электрические машины.
Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ)	Узкая, округлая, небольшая площадь, $H_c \rightarrow 0$	Элементы памяти.
Магнитотвердые	Широкая, $H_c \gg 0$	Для изготовления постоянных магнитов.

Дополнительные параметры магнитных материалов вводят в частных областях по признакам применения.

Например, для магнитных материалов с прямоугольной петлей гистерезиса, основой элементов памяти, важным параметром является коэффициент переключения:

$$S_\phi = \tau(H_m - H_0), \quad (47)$$

где H_m - напряженность магнитного поля, соответствующая максимальной магнитной индукции B_m :

$$H_m \approx 4/3 H_c \quad (48)$$

τ - время переключения элемента памяти, т.е. время необходимое для перехода из одного магнитного состояния в другое, например, от $-B_r$ до $+B_r$;

H_0 – напряженность поля старта, т.е. минимальная напряженность поля, необходимое для такого перехода.

Для магнитодиэлектрика, состоящего из связующего диэлектрика и магнитного наполнителя магнитная проницаемость μ :

$$\mu = \mu_a^\alpha, \quad (49)$$

где μ_a - магнитная проницаемость наполнителя.

Диэлектрическая проницаемость магнитодиэлектрика:

$$\varepsilon = \varepsilon_m^\alpha \varepsilon_d^{1-\alpha}, \quad (50)$$

где ε_m , ε_d – диэлектрическая проницаемость наполнителя и диэлектрика соответственно;

α - объемное содержание магнитного материала.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Физические параметры чистых металлов (при 20°C)

Металл	Плотность, Мг/м^3	Температура плавления, °C	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha_l \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	Удельное сопротивление, $\text{мкОм}\cdot\text{м}$	Температурный коэффициент удельного сопротивления, $\alpha_p \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	Работа выхода, эВ	Абсолютная удельная термо –эдс, $\text{мкВ}\cdot\text{K}^{-1}$	Период решетки, нм
Алюминий	2,7	660	21,0	0,027	4,1	4,25	-1,3	a=0,404
Вольфрам	19,3	3400	4,4	0,055	5,0	4,54	+2,0	0,316
Железо	7,87	1540	10,7	0,097	6,3	4,31	+16,6	0,286
Золото	19,3	1063	14,0	0,023	3,9	4,30	+1,5	0,407
Кобальт	8,85	1500	13,5	0,064	6,0	4,41	-20,1	a=0.251 c=0,407
Медь	8,92	1083	16,6	0,017	4,3	4,40	+1,8	a=0.361
Молибден	10,2	2620	5,3	0,050	4,3	4,30	+6,3	0,314
Натрий	0,97	98	72,0	0,042	5,5	2,35	-8,7	0,428
Никель	8,96	1453	13,2	0,068	6,7	4,50	-19,3	0,352
Олово	7,29	232	23,0	0,113	4,5	4,38	-1,1	a=0.583 c=0,318
Платина	21,45	1770	9,5	0,098	3,9	5,32	-5,1	a=0,392
Свинец	11,34	327	38,3	0,190	4,2	4,00	-1,2	0,494
Серебро	10,49	961	18,6	0,015	4,1	4,30	+1,5	0,408
Тантал	16,6	3000	6,6	0,124	3,8	4,12	-2,5	0,330
Хром	7,19	1900	6,2	0,130	2,4	4,58	+18,0	0,288
Цинк	7.14	419	30,0	0,059	4,1	4,25	+1,5	a=0.266 c=0,494

Приложение 2. Параметры полупроводников (Т=300К)

Полупроводник	Период решетки, нм	Плотность, Мг/м ³	Температура плавления, °С	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha_l \cdot 10^6, K^{-1}$	Ширина запрещенной зоны ΔE_g , эВ	$\frac{d(\Delta E_g)}{dT} 10, \frac{эВ}{K}$	Подвижность электронов, м ² /В·с	Подвижность дырок, м ² /В·с	НЧ диэлектрическая проницаемость
Ge	0,565	5,43	937	5,8	0,67	3,9	0,39	0,18	16,0
Si	0,542	2,33	1415	2,3	1.12	2,8	0,14	0,05	12,5
α -SiC	a=0,308 c=15.12	3,22	2205	-	3.02		0.033	0,06	10,0
GaN	a=0,319 c=0.518	6,11	1700	5,7	3,40	3,9	0,03	-	12,2
AlP	0,546	2,37	2000	4,2	2,45	2,6	0,008	0,003	9,8
GaP	0,545	4,07	1467	4,7	2,26	4,7	0,019	0,012	11,1
InP	0,587	4,78	1070	4,6	1,35	2,8	0,46	0,015	12,4
AlAs	0,566	3,60	1770	3,5	2,16	4,0	0,028	-10,1	
GaAs	0.565	5,32	1238	5,4	1,43	4,0	0,95	0,045	13,1
InAs	0,606	5,67	942	4,7	0,36	3,5	3,3	0,046	14.6
AlSb	0,614	4.28	1060	4,2	1,58	3.5	0,02	0,055	14,4
GaSb	0,610	5,65	710	6,1	0,72	3,6	0,4	0,14	15,7
InSb	0.648	5.78	525	4,9	0,18	3,0	7,8	0,075	17,7
ZnS	0,541	4.09	1020*	-	3,67	5.3	-	-	5,2
CdS	a=0,413 c=0,675	4,82	1750	5.7	2,53	4,9	0,034	0,011	5,4
ZnSe	0,566	5.42	1520	1,9	2,73	7,2	0,026	0,0015	9,2
CdSe	a=0,430 c=0,701	5,81	1264	-	1,85	4,1	0,072	0,0075	10,0
ZnTe	0,610	6,34	1239	8,3	2,23	-	0,053	0,003	10,4
CdTe	0,648	5,86	1041	4,0	1,51	4,1	0,12	0,006	10,2
HgTe	0,646	8,09	670	4,8	0,08	-	2,5	0,02	-
PbS	0,594	7,61	1114	-	0,39	3,3	0,06	0,07	17,0
PbSe	0,612	8,15	1076	-	0,27	4,0	0,12	0,10	-
PbTe	0,646	8,16	917	-	0,32	4,3	0,08	0,09	30,0

Приложение 3. Параметры диэлектрических материалов

Диэлектрик	Удельное объемное сопротивление, Ом·м	Относительная диэлектрическая проницаемость	Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, $\alpha_{\epsilon} \cdot 10^6, K^{-1}$	Тангенс угла диэлектрических потерь при 1 МГц	Электрическая прочность, МВ/м
Полиэтилен	$10^{14}-10^{15}$	2,3-2,4	-(200-300)	$(2-5) \cdot 10^{-4}$	40-150*
Полистирол	$10^{14}-10^{16}$	2,5-2,6	-(150-200)	$(2-4) \cdot 10^{-4}$	20-110*
Фторпласт-4	$10^{14}-10^{16}$	1,9-2,2	-(150-300)	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	40-250*
Полипропилен	$10^{12}-10^{15}$	2,0	-(200-300)	$(3-5) \cdot 10^{-4}$	30-150*
Лавсан	$10^{14}-10^{15}$	3,1-3,2	+(400-600)	$(3-10) \cdot 10^{-3}$	20-180*
Поликарбонад	$10^{14}-10^{15}$	3,0	+(50-100)	$(2-60) \cdot 10^{-3}$	30-150*
Полиамид	$10^{15}-10^{16}$	3,5	-	$(1-2) \cdot 10^{-3}$	30-200*
Поливинилхлорид	10^9-10^{13}	3,1-3,4	-	0,015-0,018	35-45
Гетинакс	10^8-10^{10}	3,0-6,0	-	0,04-0,08	15-30
Стеклотестолит	10^8-10^{11}	5,5-6,0	-	0,02-0,04	15-35
Бакелит	10^8-10^{11}	4,0	-	0,01	12-50*
Эпоксидные компаунды	$10^{12}-10^{14}$	3,3-6,0	-	0,01	20-35
Слюда	$10^{12}-10^{14}$	6,0-8,0	+(10-20)	$(1-6) \cdot 10^{-4}$	100-250*
Кварцевое стекло	10^{16}	3,8-4,2	-	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	40-400*
Щелочные стекла	$10^{10}-10^{15}$	5-10	+(30-500)	$(5-250) \cdot 10^{-4}$	40-400*

Ситаллы	10^8 - 10^{12}	5-10	-	$(1-80) \cdot 10^{-4}$	25-85
Изоляторный фарфор	10^9 - 10^{11}	5-8	-	0,02-0,03	25-30
Ультрафарфор	10^{12} - 10^{15}	7-10	+(80-140)	$(1-10) \cdot 10^{-4}$	20-45
Алюминоксид	10^{14} - 10^{15}	8,5-9,5	+(100-120)	$(1-2) \cdot 10^{-4}$	25-30
Поликор	10^{16}	9	+(80-100)	$(1-2) \cdot 10^{-4}$	30-45
Брокерит	10^{16}	6-7	+(40-80)	$(2-5) \cdot 10^{-4}$	30-45
Диэлектрик	Удельное объемное сопротивление, Ом·м	Относительная диэлектрическая проницаемость	Температурный коэффициент диэлектрическо й проницаемости	Тангенс угла диэлектрически х потерь при 1 МГц	Электрическая прочность, МВ/м
Стеатиновая керамика	10^{13} - 10^{15}	6-8	+(70-180)	$(6-8) \cdot 10^{-4}$	25-40
Цельзиановая керамика	10^{12} - 10^{13}	6-7	+(60-70)	$(1-2) \cdot 10^{-4}$	35-45
Рутиловая керамика	10^9 - 10^{12}	40-300	-(80-2200)	$(2-10) \cdot 10^{-4}$	10-30
Сегнетокерамика	10^9 - 10^{11}	900- 20000	-	0,05-0,3	4-10

Примечание: *Верхние пределы указаны для тонких пленок

Приложение 4. Параметры магнитомягких материалов (при 20°C)

Магнитный материал	Магнитная проницаемость		Коэрцитивная сила, А/м	Остаточная индукция, Тл	Индукция насыщения, Тл	Температура Кюри, °С	Удельное сопротивление, Ом·м
	начальная	максимальная					
Технически чистое железо	250-400	3500 — 4500	50-100	2,0	2,18	770	$0,1 \cdot 10^{-6}$
Электротехническая сталь	200-600	3000-8000	10-65	0,5-1,9	1,95-2,02	760-740	$(0,25-0,6) \cdot 10^{-6}$
Низконикелевые пермаллои	1500-4000	15000-60000	5-32	0,3-0,5	1,0-1,6	400-500	$(0,45-0,9) \cdot 10^{-6}$
Высоконикелевые пермаллои	7000=100000	50000-300000	0,65-5	0,5-0,7	0,65-1,05	400-600	$(0,16-0,85) \cdot 10^{-6}$
Суперпермаллой	10000	1500000	0,3	-	0,8	400	$0,6 \cdot 10^{-6}$
НЧ феррит марки:							
2000НМ	15000	35000	0.24	0,11	0,35*	110	0,001
6000НМ	4800-8000	10000	8	0,11	0,35*	130	0,1
2000НМ	1500-2300	3500	24	0,13	0,38*	200	0.5
2000НН	1800-2400	6000	8	0,10	0,25*	70	10
600НН	500-800	1500	40	0,12	0,28*	110	100

400НН	320-500	600	56	0,13	0,26*	120	1000
ВЧ феррит марки:							
100ВЧ	80-120	280	300	0,15	-	400	10^5
20ВЧ	16-24	45	1000	0,1	-	450	10^6
Магнитодиэлектрики на основе:							
Альсифера	20-90	-	400-500	0.02-0,05	-	-	$(1-10) \cdot 10^{-4}$
Молибденового пермаллоя	60-250	-	100	0,007-0.02	-	-	-

Примечание:*При $H=800\text{А/м}$

Приложение 5.Варианты заданий контрольной работы, соответствующие двум последним цифрам студенческого билета или цифрам пароля

	3.1 Проводники		3.2 Полупроводники		3.3 Диэлектрики				3.4 Магнитные материалы	
№ варианта	Задание 1	Задание 2	Задание 3	Задание 4	Задние 5	Задние 6	Задние 7	Задние 8	Задние 9	Задние 10
00	1.1	1.8	2.1	2.12	3.1	3.14	3.15	3.28	4.5	4.10
01	1.1	1.5	2.1	2.7	3.1	3.8	3.15	3.22	4.1	4.6
02	1.1	1.6	2.1	2.8	3.1	3.9	3.15	3.23	4.1	4.7
03	1.1	1.7	2.1	2.9	3.1	3.10	3.15	3.24	4.1	4.8
04	1.1	1.8	2.1	2.10	3.1	3.11	3.15	3.25	4.1	4.9
05	1.2	1.5	2.1	2.11	3.1	3.12	3.15	3.26	4.1	4.10
06	1.2	1.6	2.1	2.12	3.1	3.13	3.15	3.27	4.2	4.6
07	1.2	1.7	2.2	2.7	3.1	3.14	3.15	3.28	4.2	4.7
08	1.2	1.8	2.2	2.8	3.2	3.8	3.16	3.22	4.2	4.8
09	1.3	1.5	2.2	2.9	3.2	3.9	3.16	3.23	4.2	4.9
10	1.3	1.6	2.2	2.10	3.2	3.10	3.16	3.24	4.2	4.10
11	1.3	1.7	2.2	2.11	3.2	3.11	3.16	3.25	4.3	4.6
12	1.3	1.8	2.2	2.12	3.2	3.12	3.16	3.26	4.3	4.7
13	1.4	1.5	2.3	2.7	3.2	3.13	3.16	3.27	4.3	4.8
14	1.4	1.6	2.3	2.8	3.2	3.14	3.16	3.28	4.3	4.9
15	1.4	1.7	2.3	2.9	3.3	3.8	3.17	3.22	4.3	4.10
16	1.4	1.8	2.3	2.10	3.3	3.9	3.17	3.23	4.4	4.6
17	1.1	1.2	2.3	2.11	3.3	3.10	3.17	3.24	4.4	4.7
18	1.1	1.3	2.3	2.12	3.3	3.11	3.17	3.25	4.4	4.8
19	1.1	1.4	2.4	2.7	3.3	3.12	3.17	3.26	4.4	4.9
20	1.2	1.3	2.4	2.8	3.3	3.13	3.17	3.27	4.4	4.10
21	1.2	1.4	2.4	2.9	3.3	3.14	3.17	3.28	4.5	4.6
22	1.3	1.4	2.4	2.10	3.4	3.8	3.18	3.22	4.5	4.7
23	1.1	1.5	2.4	2.11	3.4	3.9	3.18	3.23	4.5	4.8
24	1.1	1.6	2.4	2.12	3.4	3.10	3.18	3.24	4.5	4.9
25	1.1	1.7	2.5	2.7	3.4	3.11	3.18	3.25	4.5	4.10
26	1.1	1.8	2.5	2.8	3.4	3.12	3.18	3.26	4.1	4.2
27	1.2	1.5	2.5	2.9	3.4	3.13	3.18	3.27	4.1	4.3
28	1.2	1.6	2.5	2.10	3.4	3.14	3.18	3.28	4.1	4.4
29	1.2	1.7	2.5	2.11	3.5	3.8	3.19	3.22	4.1	4.5

30	1.2	1.8	2.5	2.12	3.5	3.9	3.19	3.23	4.2	4.3
31	1.3	1.5	2.6	2.7	3.5	3.10	3.19	3.24	4.2	4.4
32	1.3	1.6	2.6	2.8	3.5	3.11	3.19	3.25	4.2	4.5
33	1.3	1.7	2.6	2.9	3.5	3.12	3.19	3.26	4.3	4.4
34	1.3	1.8	2.6	2.10	3.5	3.13	3.19	3.27	4.3	4.5
35	1.4	1.5	2.6	2.11	3.5	3.14	3.19	3.28	4.4	4.5
36	1.4	1.6	2.6	2.12	3.6	3.8	3.20	3.22	4.1	4.6
37	1.4	1.7	2.1	2.2	3.6	3.9	3.20	3.23	4.1	4.7
38	1.4	1.8	2.1	2.3	3.6	3.10	3.20	3.24	4.1	4.8
39	1.1	1.2	2.1	2.4	3.6	3.11	3.20	3.25	4.1	4.9
40	1.1	1.3	2.1	2.5	3.6	3.12	3.20	3.26	4.1	4.10
41	1.1	1.4	2.1	2.6	3.6	3.13	3.20	3.27	4.2	4.6
42	1.2	1.3	2.2	2.3	3.6	3.14	3.20	3.28	4.2	4.7
43	1.2	1.4	2.3	2.4	3.7	3.8	3.21	3.22	4.2	4.8
44	1.3	1.4	2.3	2.5	3.7	3.9	3.21	3.23	4.2	4.9
45	1.1	1.5	2.3	2.6	3.7	3.10	3.21	3.24	4.2	4.10
46	1.1	1.6	2.4	2.5	3.7	3.11	3.21	3.25	4.3	4.6
47	1.1	1.7	2.4	2.6	3.7	3.12	3.21	3.26	4.3	4.7
48	1.1	1.8	2.5	2.6	3.7	3.13	3.21	3.27	4.3	4.8
49	1.2	1.5	2.1	2.7	3.7	3.14	3.21	3.28	4.3	4.9
50	1.2	1.6	2.1	2.8	3.1	3.2	3.15	3.16	4.3	4.10
51	1.2	1.7	2.1	2.9	3.1	3.3	3.15	3.17	4.4	4.6
52	1.2	1.8	2.1	2.10	3.1	3.4	3.15	3.18	4.4	4.7
53	1.3	1.5	2.1	2.11	3.1	3.5	3.15	3.19	4.4	4.8
54	1.3	1.6	2.1	2.12	3.1	3.6	3.15	3.20	4.4	4.9
55	1.3	1.7	2.2	2.7	3.1	3.7	3.15	3.21	4.4	4.10
56	1.3	1.8	2.2	2.8	3.2	3.3	3.16	3.17	4.5	4.6
57	1.4	1.5	2.2	2.9	3.2	3.4	3.16	3.18	4.5	4.7
58	1.4	1.6	2.2	2.10	3.2	3.5	3.16	3.19	4.5	4.8
59	1.4	1.7	2.2	2.11	3.2	3.6	3.16	3.20	4.5	4.9
60	1.4	1.8	2.2	2.12	3.2	3.7	3.16	3.21	4.5	4.10
61	1.1	1.2	2.3	2.7	3.3	3.4	3.17	3.18	4.1	4.2
62	1.1	1.3	2.3	2.8	3.3	3.5	3.17	3.19	4.1	4.3
63	1.1	1.4	2.3	2.9	3.3	3.6	3.17	3.20	4.1	4.4
64	1.2	1.3	2.3	2.10	3.3	3.7	3.17	3.21	4.1	4.5
65	1.2	1.4	2.3	2.11	3.4	3.5	3.18	3.19	4.2	4.3
66	1.3	1.4	2.3	2.12	3.4	3.6	3.18	3.20	4.2	4.4
67	1.1	1.5	2.4	2.7	3.4	3.7	3.18	3.21	4.2	4.5
68	1.1	1.6	2.4	2.8	3.5	3.6	3.19	3.20	4.3	4.4
69	1.1	1.7	2.4	2.9	3.5	3.7	3.19	3.21	4.3	4.5
70	1.1	1.8	2.4	2.10	3.6	3.7	3.20	3.21	4.4	4.5
72	1.2	1.5	2.4	2.11	3.1	3.8	3.17	3.22	4.1	4.6
73	1.2	1.6	2.4	2.12	3.1	3.9	3.17	3.23	4.1	4.7
74	1.2	1.7	2.5	2.7	3.1	3.10	3.17	3.24	4.1	4.8
75	1.2	1.8	2.5	2.8	3.1	3.11	3.17	3.25	4.1	4.9
76	1.3	1.5	2.5	2.9	3.1	3.12	3.17	3.26	4.1	4.10
77	1.3	1.6	2.5	2.10	3.1	3.13	3.17	3.27	4.2	4.6
78	1.3	1.7	2.5	2.11	3.1	3.14	3.17	3.28	4.2	4.7
79	1.3	1.8	2.5	2.12	3.2	3.8	3.18	3.22	4.2	4.8
80	1.4	1.5	2.6	2.7	3.2	3.9	3.18	3.23	4.2	4.9
81	1.4	1.6	2.6	2.8	3.2	3.10	3.18	3.24	4.2	4.10
82	1.4	1.7	2.6	2.9	3.2	3.11	3.18	3.25	4.3	4.6
83	1.4	1.8	2.6	2.10	3.2	3.12	3.18	3.26	4.3	4.7
84	1.1	1.2	2.6	2.11	3.2	3.13	3.18	3.27	4.3	4.8
85	1.1	1.3	2.6	2.12	3.2	3.14	3.18	3.28	4.3	4.9
86	1.1	1.4	2.1	2.2	3.3	3.8	3.19	3.22	4.3	4.10
87	1.2	1.3	2.1	2.3	3.3	3.9	3.19	3.23	4.4	4.6

88	1.2	1.4	2.1	2.4	3.3	3.10	3.19	3.24	4.4	4.7
89	1.3	1.4	2.1	2.5	3.3	3.11	3.19	3.25	4.4	4.8
90	1.1	1.5	2.1	2.6	3.3	3.12	3.19	3.26	4.4	4.9
91	1.1	1.6	2.2	2.3	3.3	3.13	3.19	3.27	4.4	4.10
92	1.1	1.7	2.3	2.4	3.3	3.14	3.19	3.28	4.5	4.6
93	1.1	1.8	2.3	2.5	3.4	3.8	3.20	3.22	4.5	4.7
94	1.2	1.5	2.3	2.6	3.4	3.9	3.20	3.23	4.5	4.8
95	1.2	1.6	2.4	2.5	3.4	3.10	3.20	3.24	4.5	4.9
96	1.2	1.7	2.4	2.6	3.4	3.11	3.20	3.25	4.5	4.10
97	1.2	1.8	2.5	2.6	3.4	3.12	3.20	3.26	4.1	4.2
98	1.3	1.5	2.2	2.7	3.4	3.13	3.20	3.27	4.1	4.3
99	1.3	1.6	2.1	2.6	3.4	3.14	3.20	3.28	4.1	4.4