

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники  
и нанoeлектроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению контрольных работ  
по дисциплине  
«Физика полупроводников»  
для студентов направления 11.03.04  
«Электроника и нанoeлектроника»,  
профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника»  
заочной формы обучения

Воронеж 2015

Составитель канд. техн. наук Е.П. Новокрещенова

УДК 537.311

Методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплине «Физика полупроводников» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника») заочной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.П. Новокрещенова. Воронеж, 2015. 23 с.

Методические указания предназначены для студентов третьего курса заочной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS WORD 2007 и содержатся в файле Контр. зо. ФПП.docx.

Табл. 20. Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Т.В. Свистова

Ответственный за выпуск зав. кафедрой  
д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Рембеза

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015

## **ВЫБОР ВАРИАНТОВ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

Контрольные вопросы и задачи составлены согласно рабочей программе по курсу «Физика полупроводников», составленной в соответствии с требованиями Федерального Государственного образовательного стандарта по направлению 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника» профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника».

Контрольная работа включает в себя ответы на теоретические вопросы и решения задач. Студенты выбирают вопросы и задачи по номеру варианта, соответствующему двум последним цифрам шифра студента. **Шифром является номер зачетной книжки студента.**

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой указывается название дисциплины, фамилия, имя, отчество студента, учебный шифр, номер группы, домашний адрес, номера теоретических вопросов и решаемых задач.

Решения задач сопровождаются краткими пояснениями с указанием формул, численными расчетами результатов с приведением размерностей определяемых величин, в конце приводится ответ. При необходимости решения задач и ответы на теоретические вопросы сопровождаются поясняющими рисунками.

Таблица 1

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	1	<p>1. Что является основной причиной образования энергетических зон в твердом теле?</p> <p>2. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда на участке примесной проводимости в донорном полупроводнике.</p> <p>4. Какие носители заряда называются равновесными, а какие неравновесными?</p> <p>5. В каком из полупроводников собственная фотопроводимость наблюдается при наибольшей длине волны падающего на них излучения: Ge, Si, SiC, InSb, GaAs, GaP, CdS?</p> <p>6. Определите направление термоЭДС в полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах, если основными носителями заряда являются дырки.</p>

Таблица 2

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	2	<p>1. Изобразите зонную диаграмму собственного полупроводника, с помощью которой объяснить его электропроводность.</p> <p>2. Какие примеси в германии являются донорами?</p> <p>3. Уравнение электронейтральности. Энергия Ферми.</p> <p>4. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда на участке примесной проводимости в акцепторном полупроводнике.</p> <p>5. Какова должна быть ширина запрещенной зоны полупроводника, чтобы длина волны рекомбинационного излучения приходилась на видимую область спектра?</p> <p>6. Объясните, при каких условиях и в каких полупроводниковых материалах ЭДС Холла может обращаться в нуль.</p>

Таблица 3

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	3	<p>1. Изобразите зонную диаграмму полупроводника n-типа проводимости, с помощью которой объяснить его электропроводность.</p> <p>2. В чем разница в зонной структуре металлов и полупроводников?</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда на участке истощения примесной проводимости в донорном полупроводнике.</p> <p>4. Эффект Холла. Определение концентрации и знака носителей заряда.</p> <p>5. Вычислите энергию фотонов для красного излучения (<math>\lambda = 700</math> нм). Укажите, какие полупроводники прозрачны для этого излучения, а какие поглощают его.</p> <p>6. Определите направление термоЭДС в полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах, если основными носителями заряда являются электроны.</p>

Таблица 4

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	4	<p>1. Что называется подвижностью носителей заряда?</p> <p>2. В чем разница в зонной структуре диэлектриков и полупроводников?</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда на участке истощения примесной проводимости в акцепторном полупроводнике.</p> <p>4. Механизмы поглощения света в полупроводниках.</p> <p>5. Что называется барьером Шоттки?</p> <p>6. Определите направление термоЭДС в полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах, если основными носителями заряда являются дырки.</p>

Таблица 5

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	5	<p>1. Изобразите зонную диаграмму полупроводника р-типа, с помощью которой объяснить его электропроводность.</p> <p>2. В чем существенная особенность полупроводников, отличающая их от других веществ?</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда на участке собственной проводимости в донорном полупроводнике.</p> <p>4. Механизмы рекомбинации носителей заряда.</p> <p>5. Что такое р-п переход? Какова его вольтамперная характеристика?</p> <p>6. Определите удельное сопротивление донорного полупроводника, если концентрация электронов проводимости в нем равна <math>10^{21} \text{ м}^{-3}</math>, а их подвижность <math>0,6 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})</math>.</p>



Таблица 6

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	6	<p>1. Какой полупроводник называется собственным?</p> <p>2. В чем разница между металлами и полупроводниками?</p> <p>3. Физические свойства поверхности полупроводников.</p> <p>4. Изобразите температурную зависимость концентрации носителей заряда на участке собственной проводимости в акцепторном полупроводнике.</p> <p>5. В идеально скомпенсированном полупроводнике концентрация электронов равна концентрации дырок. Можно ли считать, что при всех температурах удельное сопротивление такого полупроводника равно собственному удельному сопротивлению?</p> <p>6. Почему при получении омических контактов на n-Si путем термического вакуумного напыления алюминия поверхность кремния дополнительно легируют донорами, а при создании омических контактов алюминия на p-Si дополнительной обработки полупроводника не производят?</p>

Таблица 7

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	7	<p>1. Какой полупроводник называется примесным?</p> <p>2. Из каких энергетических уровней электронов изолированных атомов образуется валентная зона?</p> <p>3. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике.</p> <p>4. Какие носители заряда называются равновесными, а какие неравновесными?</p> <p>5. Что такое р-п переход? Какова его вольтамперная характеристика?</p> <p>6. Определить максимальную ширину запрещенной зоны, которую может иметь полупроводник, используемый в качестве фотодетектор, если он должен быть чувствительным к излучению с длиной волны 565 нм.</p>

Таблица 8

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	8	<p>1. От чего зависит электропроводность собственного полупроводника?</p> <p>2. В чем разница между диэлектриками и полупроводниками?</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость проводимости на участке примесной проводимости в донорном полупроводнике.</p> <p>4. Термоэлектрические явления в полупроводниках.</p> <p>5. Назовите основные факторы, от которых зависят время жизни и диффузионная длина неравновесных носителей заряда.</p> <p>6. Объясните, при каких условиях и в каких полупроводниковых материалах ЭДС Холла может обращаться в нуль.</p>

Таблица 9

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	9	<p>1. От чего зависит электропроводность примесного полупроводника?</p> <p>2. Какие примеси в кремнии являются акцепторами?</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость проводимости на участке примесной проводимости в акцепторном полупроводнике.</p> <p>4. Физический смысл понятия диффузионной длины носителей заряда. Как она связана с временем жизни носителей?</p> <p>5. Каким образом возникает контактная разность потенциалов?</p> <p>6. Возникает ли термоЭДС в собственном полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах?</p>

Таблица 10

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
0 2 4 6 8	0	<p>1. Чем и с какой целью легируются полупроводники?</p> <p>2. Концентрация электронов и дырок в полупроводниках.</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость проводимости на участке истощения примесной проводимости в донорном полупроводнике.</p> <p>4. Неравновесные носители заряда. Их время жизни.</p> <p>5. Вычислите энергию фотонов для красного излучения (<math>\lambda = 700</math> нм). Укажите, какие полупроводники прозрачны для этого излучения, а какие поглощают его.</p> <p>6. Определите направление термоЭДС в полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах, если основными носителями заряда являются электроны.</p>

Таблица 11

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	1	<p>1. Как формируются разрешенные и запрещенные зоны в полупроводнике?</p> <p>2. Какие примеси в германии являются акцепторами?</p> <p>3. Изобразите температурную зависимость проводимости на участке истощения примесной проводимости в акцепторном полупроводнике.</p> <p>4. Дайте определение понятия времени жизни носителей заряда.</p> <p>5. Определить удельное сопротивление донорного полупроводника, если концентрация электронов проводимости в нем <math>10^{21} \text{ м}^{-3}</math>, а их подвижность <math>0,6 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})</math>.</p> <p>6. Определить максимальную ширину запрещенной зоны, которую может иметь полупроводник, используемый в качестве фотодетектора, если он должен быть чувствительным к излучению с длиной волны 565 нм.</p>

Таблица 12

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	2	<p>1. Из каких энергетических уровней электронов изолированных атомов образуется зона проводимости?</p> <p>2. Как примеси влияют на электропроводность полупроводников?</p> <p>3. Электропроводность полупроводников, концентрация и подвижность носителей заряда.</p> <p>4. Определение типа проводимости полупроводника по знаку термоЭДС.</p> <p>5. Что такое работа выхода электрона?</p> <p>6. Вычислите энергию фотонов для красного излучения (<math>\lambda = 700</math> нм). Укажите, какие полупроводники прозрачны для этого излучения, а какие поглощают его.</p>

Таблица 13

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В чем разница между металлами и полупроводниками?</li> <li>2. Какие примеси в кремнии являются донорами?</li> <li>3. Чем объясняется большая чувствительность полупроводников к внешним воздействиям?</li> <li>4. Изобразите температурную зависимость проводимости на участке собственной проводимости в донорном полупроводнике.</li> <li>5. Фотопроводимость полупроводников.</li> <li>6. Возникает ли термоЭДС в собственном полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах?</li> </ol>



Таблица 14

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	4	<p>1. Изобразите зонную диаграмму полупроводника n-типа проводимости, с помощью которой объяснить его электропроводность.</p> <p>2. Какие носители заряда называются основными, а какие неосновными?</p> <p>3. Физический смысл понятия диффузионной длины носителей заряда. Как она связана с временем жизни носителей?</p> <p>4. Приведите примеры прямозонных и непрямозонных полупроводников.</p> <p>5. Что такое работа выхода электрона?</p> <p>6. Для акцепторного полупроводника в определенном интервале температур получена температурная зависимость концентрации дырок (рис. 1). Как изменится эта зависимость, если в этот полупроводник дополнительно ввести донорную примесь с концентрацией <math>N_d</math>, считая, что <math>N_d &lt; p_0</math>?</p>

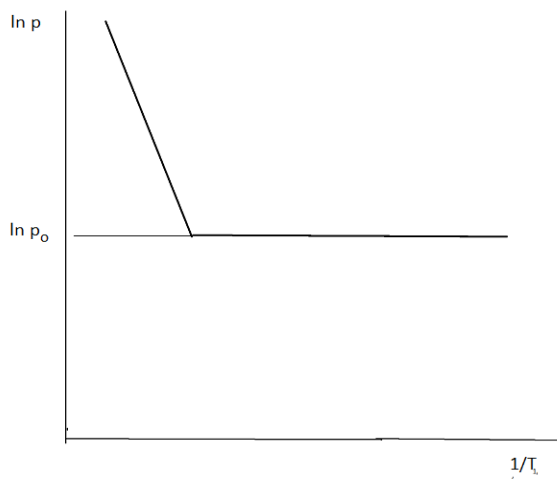


Рис. 1

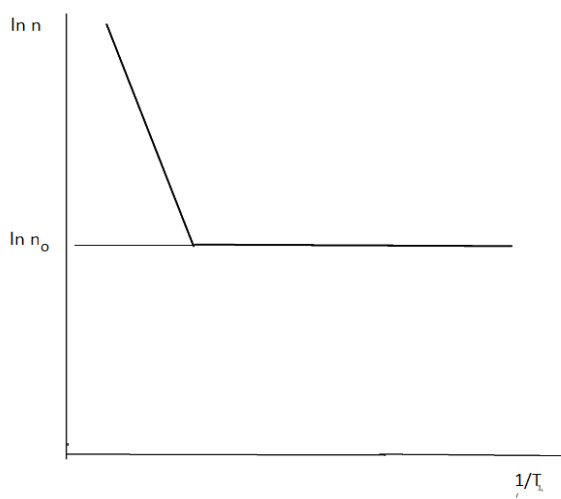


Рис. 2

Таблица 15

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	5	<p>1. Какие примеси в германии являются акцепторами?</p> <p>2. Изобразите температурную зависимость проводимости на участке собственной проводимости в акцепторном полупроводнике.</p> <p>3. Как связан коэффициент Холла и концентрация носителей заряда?</p> <p>4. Фотолюминесценция полупроводников.</p> <p>5. Каким образом возникает контактная разность потенциалов?</p> <p>6. В идеально скомпенсированном полупроводнике концентрация электронов равна концентрации дырок. Можно ли считать, что при всех температурах удельное сопротивление такого полупроводника равно собственному удельному сопротивлению?</p>

Таблица 16

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	6	<p>1. Как формируются разрешенные и запрещенные зоны в полупроводнике?</p> <p>2. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике.</p> <p>3. Что называется процессом генерации электронно-дырочных пар?</p> <p>4. Контакт полупроводника с металлом. Зонная диаграмма.</p> <p>5. Что такое p-n переход? Какова его вольтамперная характеристика?</p> <p>6. Найти полную концентрацию ионизированных примесей <math>N_i</math> в донорном полупроводнике, если концентрация компенсирующих акцепторов <math>N_a</math>, а концентрация основных носителей заряда <math>n</math>.</p>

Таблица 17

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	7	<p>1. Чем отличается энергетический спектр электронов в кристалле от спектра в изолированном атоме?</p> <p>2. Что называется процессом рекомбинации носителей заряда?</p> <p>3. В чем разница между прямыми и непрямыми оптическими переходами в полупроводниках?</p> <p>4. Вольтамперная характеристика контакта металла с полупроводником. Понятие омического контакта.</p> <p>5. Для донорного полупроводника в определенном интервале температур получена температурная зависимость концентрации электронов (рис. 2). Как изменится эта зависимость, если в этот полупроводник дополнительно ввести акцепторную примесь с концентрацией <math>N_a</math>, считая, что <math>N_a &lt; n_0</math>?</p> <p>6. Определить направление термоЭДС в полупроводнике, концы которого находятся при разных температурах, если основными носителями заряда являются электроны.</p>

Таблица 18

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	8	<p>1. Изобразите зонную диаграмму полупроводника р-типа проводимости, с помощью которой объяснить его электропроводность.</p> <p>2. Дайте определение понятия времени жизни носителей заряда.</p> <p>3. Что такое красная граница фотопроводимости ?</p> <p>4. Что называется барьером Шоттки?</p> <p>5. Найти полную концентрацию ионизированных примесей <math>N_i</math> в донорном полупроводнике, если концентрация компенсирующих акцепторов <math>N_a</math>, а концентрация основных носителей заряда <math>n</math>.</p> <p>6. Определить подвижность и концентрацию электронов n-Si, удельное сопротивление которого <math>1,8 \cdot 10^{-2}</math> Ом·м, а коэффициент Холла <math>2,1 \cdot 10^{-3}</math> м<sup>3</sup>/Кл.</p>

Таблица 19

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	9	<p>1. Что является основной причиной образования энергетических зон в твердом теле?</p> <p>2. Эффект Холла. Определение концентрации и знака носителей заряда.</p> <p>3. В каких случаях удельная проводимость полупроводников уменьшается при увеличении суммарного содержания электрически активных примесей?</p> <p>4. Назовите основные факторы, от которых зависят время жизни и диффузионная длина неравновесных носителей заряда.</p> <p>5. В каком из полупроводниковых материалов собственная фотопроводимость наблюдается при наибольшей длине волны падающего на полупроводник излучения: Ge, Si, SiC, InSb, GaAs, GaP, CdS?</p> <p>6. Почему при получении омических контактов на n-Si путем термического вакуумного напыления алюминия поверхность полупроводника дополнительно легируют донорами, а при создании омических контактов алюминия на p-Si дополнительной обработки полупроводника не производят?</p>

Таблица 20

Номер варианта		Вопросы и задачи
Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра	
1 3 5 7 9	0	<p>1. Чем и с какой целью легируются полупроводники?</p> <p>2. В чем разница между диэлектриками и полупроводниками?</p> <p>3. Механизмы рекомбинации носителей заряда.</p> <p>4. Что называется барьером Шоттки?</p> <p>5. В идеально скомпенсированном полупроводнике концентрация электронов равна концентрации дырок. Можно ли считать, что при всех температурах удельное сопротивление такого полупроводника равно собственному удельному сопротивлению?</p> <p>6. Вычислите энергию фотонов для красного излучения (<math>\lambda = 700</math> нм). Укажите, какие полупроводники прозрачны для этого излучения, а какие поглощают его.</p>



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пасынков, В.В. Материалы электронной техники , [Текст] / В.В. Пасынков, В.С.Сорокин. - СПб.: Лань, 2004
2. Шалимова, К.В. Физика полупроводников, [Текст]/ К.В. Шалимова. - СПб.: Лань, 2010
3. Павлов, П.В. Физика твердого тела, [Текст]/ П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - М.: Высш. шк., 2002
4. Фистуль, В.И. Введение в физику полупроводников, [Текст]/ В.И. Фистуль. - М.: Высш. шк., 1984.
5. Новокрещенова Е.П. Введение в материаловедение полупроводников: [Текст]/ Е.П. Новокрещенова. - Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технически университет», 2010. 180 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к выполнению контрольных работ  
по дисциплине «Физика полупроводников»  
для студентов направления 11.03.04  
«Электроника и наноэлектроника»  
профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника»  
заочной формы обучения

Составитель Новокрещенова Елена Павловна

В авторской редакции

Компьютерный набор Е.П.Новокрещеновой

Подписано к изданию 25. 11. 2015

Уч.-изд. л. 1,4

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14