

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности
210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы

2014

Арестов, Сергей Иннокентьевич
Шангин, Александр Сергеевич

Исследование полупроводниковых диодов : методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы / С.И. Арестов, А.С. Шангин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2014. - 17 с.

Целью настоящей работы является исследование характеристик и параметров выпрямительных полупроводниковых диодов и изучение влияния температуры на их свойства.

В работе исследуются точечные и плоскостные германиевые и кремниевые выпрямительные диоды, снимаются прямые и обратные характеристики диодов, измеряется дифференциальное сопротивление диодов на различных участках вольт-амперной характеристики.

Пособие предназначено для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы по дисциплине «Электроника 1. Физические основы электроники»

© Арестов Сергей Иннокентьевич, 2014
© Шангин Александр Сергеевич, 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ___ » _____ 2014 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и
комплексы

Разработчик
_____ С.И. Арестов
_____ А.С. Шангин
_____ 2014 г

Содержание

1	Введение	5
2	Теоретическая часть	5
2.1.	Физические процессы в диоде	5
2.2	Вольт-амперная характеристика диода	7
2.3	Емкость электронно-дырочного перехода	8
2.4	Устройство полупроводниковых диодов	9
2.5	Статические параметры диода	10
2.6	Контрольные вопросы	11
3	Экспериментальная часть	11
3.1	Задание	11
3.2	Описание лабораторного стенда	12
3.3	Снятие статических характеристик	13
3.4	Измерение дифференциального сопротивления	14
3.5	Методические указания	15
3.6	Содержание отчета	15
	Список литературы	15

1 Введение

Целью настоящей работы является исследование характеристик и параметров выпрямительных полупроводниковых диодов и изучение влияния температуры на их свойства.

В работе исследуются точечные и плоскостные германиевые и кремниевые выпрямительные диоды, снимаются прямые и обратные характеристики диодов, измеряется дифференциальное сопротивление диодов на различных участках вольт-амперной характеристики.

В ходе выполнения работы у студентов формируется способность представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ПК-1).

2 Теоретическая часть

2.1. Физические процессы в диоде

Работа большинства полупроводниковых приборов основана на использовании свойств электрического перехода – переходного слоя между двумя областями с различными типами электропроводника, одна из которых имеет электропроводность *n*-типа, а другая – *p*-типа, называется электронно-дырочным переходом (рис.2.1 а).

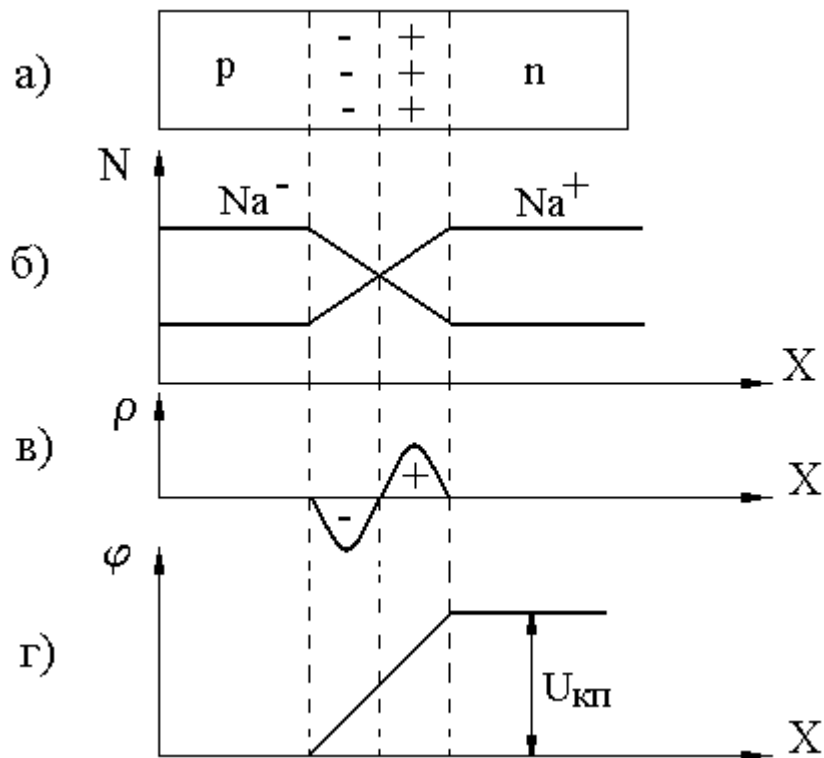


Рисунок 2.1 – Образование *p – n –* перехода

Существование электронно-дырочного перехода обусловлено различием в концентрации подвижных носителей заряда электронной и дырочной областей.

Пусть внешнее напряжение на переходе отсутствует.

На рис.2.1 б показано распределение концентраций донорных и акцепторных примесей.

Так как концентрация дырок в р-области больше, чем в n-области, то возникает градиент концентрации, под действием которого дырки диффундируют в n-область. В результате перехода дырок в n-область в р-области возникает отрицательный пространственный заряд, образованный отрицательно заряженными ионами акцепторной примеси. Диффузия электронов в р-область аналогичным образом приводит к возникновению положительного пространственного заряда в n-области (рис.2.1 в). В результате в области р-n-перехода образуется двойной электрический слой, который называется запиорным слоем. Двойной электрический слой является причиной возникновения в области перехода электрической разности потенциалов (потенциального барьера), показанного на рис. 2.1 г. величина потенциального барьера, называемого контактной разностью потенциалов, зависит от соотношения концентрации носителей тока в р- и n-областях. Собственное поле перехода препятствует диффузии основных носителей через р-n-переход. Однако это поле не препятствует переходу не основных носителей из области одной в другую. Таким образом, при отсутствии внешнего поля диффузионный ток в переходе, вызванный градиентом концентрации носителей, уравнивается дрейфовым током.

На рис. 2.2 показана энергетическая диаграмма симметричного р-n-перехода при тепловом равновесии.

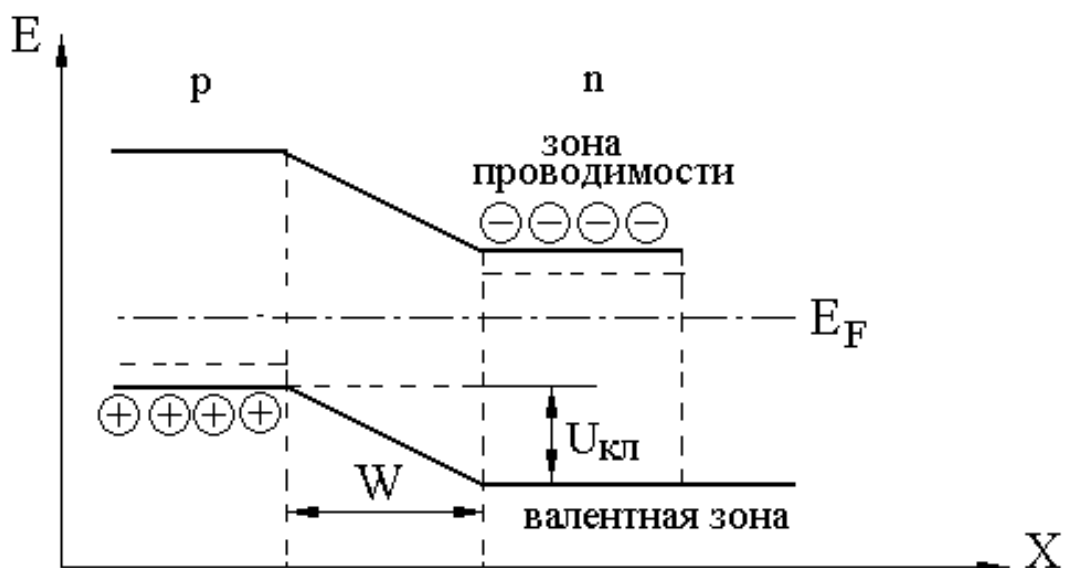


Рисунок 2.2 – Энергетическая диаграмма перехода

Пусть источник внешнего напряжения включен положительным полюсом к полупроводнику р-типа, а отрицательным полюсом – к полупроводнику n-типа. Это приводит к тому, что потенциальный барьер в переходе снижается, нарушается равновесие, начинается инжекция носителей заряда и через переход течет прямой ток $I_{пр}$. поскольку в реальных диодах степень легирования р-области (эмиттера), как правило, выше чем n-области (базы) прямой ток обусловлен в основном инжекцией дырок из эмиттера в базу. Дрейфовый ток остается практически неизменным. Такое включение диода называется прямым. Если изменить полярность приложенного напряжения, то высота потенциального барьера увеличивается. Увеличение высоты потенциального барьера приводит к тому, что количество основных носителей тока, способных его преодолеть, уменьшается. Так как р-n-переход обеднен носителями тока, то его сопротивление большое. Через переход течет обратный (дрейфовый) ток. Величина дрейфового тока определяется неосновными носителями заряда. Такое включение диода называется обратным.

2.2 Вольт-амперная характеристика диода

Вольт-амперная характеристика диода отражает зависимость между током через диод и приложенным напряжением. Эта зависимость характеризуется соотношением

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qU}{KT}} - 1 \right), \quad (2.1)$$

где q – заряд электрона;

K – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура;

e – экспонента;

U – приложенное напряжение;

I_0 – обратный ток.

Обратный ток создается неосновными носителями, концентрация которых зависит от температуры, ширины запрещенной зоны, концентрация примесей. Этот ток называют тепловым током.

Как следует из этого выражения, при положительных напряжениях (прямое включение) ток через переход растет в зависимости от напряжения по экспоненциальному закону. Вид вольт-амперной характеристики показан на рис. 2.3.

При больших обратных напряжениях на переходе наблюдается резкое возрастание тока. Если этот ток не ограничить, то может произойти пробой перехода. Для выпрямительных диодов работа на предпробойном участке характеристики не рекомендуется. Положение вольт-амперной характеристики р-n-перехода зависит от температуры. При увеличении температуры происходит увеличение как прямого, так и обратного тока.

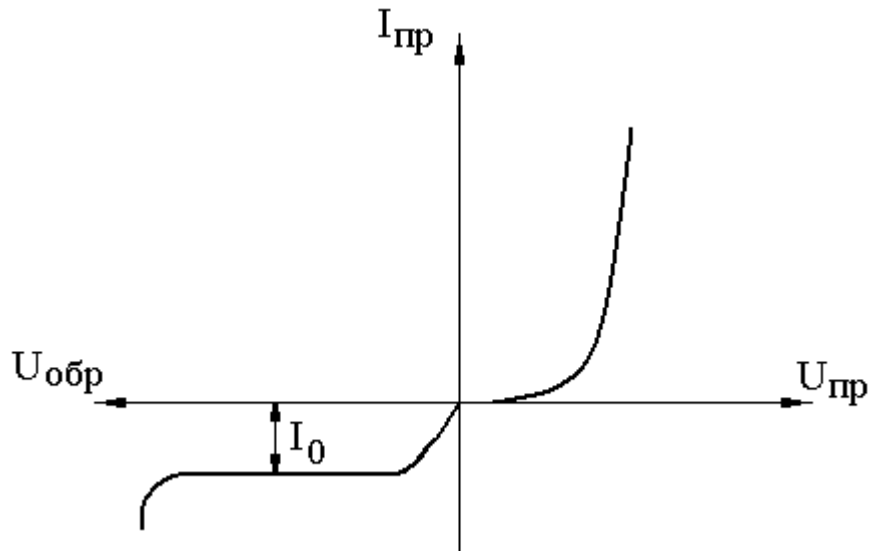


Рисунок 2.3 – Вольт-амперная характеристика диода

2.3 Емкость электронно-дырочного перехода

Из рассмотренного выше видно, что р-п-переход представляет двойной слой противоположных по знаку неподвижных объемных зарядов. При подаче на р-п-переход отрицательного напряжения высота потенциального барьера увеличивается. Это приводит к расширению р-п-перехода и увеличению положительного заряда в п-области и отрицательного заряда в р-области.

Таким образом, переход действует как емкость, так как изменение напряжения, приложенного к переходу. Приводит к изменению объемного заряда в переходе. Эту емкость называют барьерной.

$$C_B = \frac{dQ}{dU}, \quad (2.2)$$

где dQ - изменение заряда;

dU - изменение напряжения.

Зависимость емкости от приложенного напряжения представлена на рис. 2.4.

При подаче на р-п-переход положительного напряжения высота потенциального барьера уменьшается, переход сужается, объемные заряды уменьшаются. При прямом напряжении на переходе кроме барьерной емкости имеет место диффузионная емкость C_g , обусловленная введением неосновных носителей при протекании через переход прямого тока. Диффузионная емкость намного превосходит барьерную емкость. Практическое значение имеет только барьерная емкость.

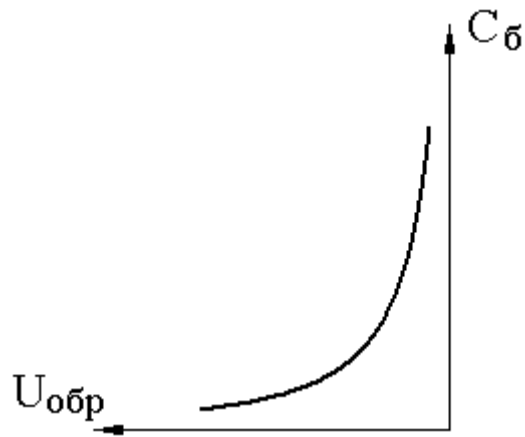


Рисунок 2.4 – Вольтфарадная характеристика перехода

2.4 Устройство полупроводниковых диодов

В зависимости от конструкции и способа изготовления р-n-перехода различают точечные и плоскостные диоды. Плоскостные диоды обычно получают сплавлением или диффузионным методом. В качестве материала для изготовления полупроводниковых приборов широкое применение получили германий, кремний, селен, а в качестве примесей применяют фосфор, алюминий, мышьяк, индий.

На рис.2.5 показано устройство маломощного плоскостного кремниевого диода.

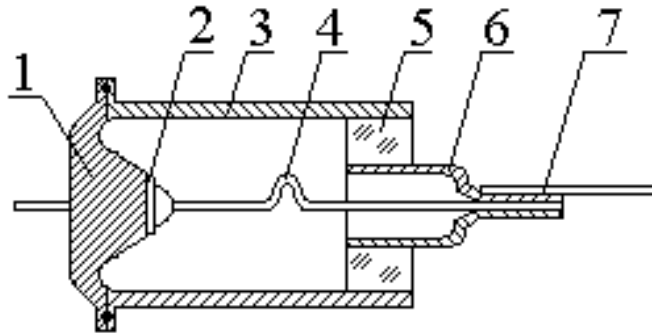


Рисунок 2.5 - Устройство плоскостного диода

Электронно-дырочный переход образуется вплавлением акцепторной примеси в кремний. Пластика кремния с р-n-переходом 2 припаивается к кристаллодержателю 1, являющемуся основанием корпуса диода. К кристаллодержателю приваривается корпус 3 со стеклянным изолятором 5, через который проходит вывод анода 4. плоскостные диоды изготавливаются на токи от десятков миллиампер до сотен ампер и больше. У мощных диодов кристаллодержатель представляет собой массивное теплоотводящее основание с винтом и плоской внешней

поверхностью для обеспечения хорошего теплового контакта с радиатором.

Устройство точечного диода показано на рис. 2.6.

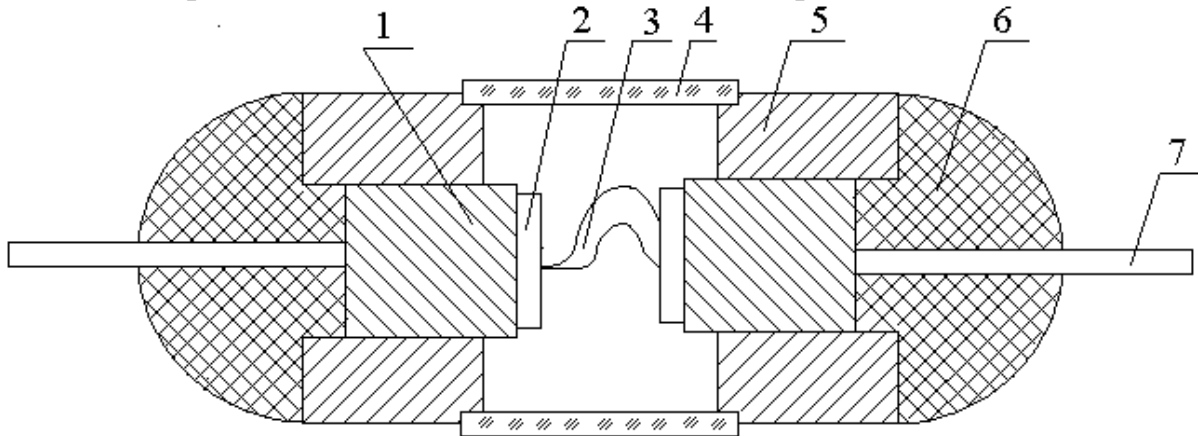


Рисунок 2.6 – Устройство точечного диода

Диод состоит из кристалла полупроводника 2, припаянного к кристаллодержателю 1, контактного электрода в виде пружинки-острия 3 и стеклянного баллона 4. стеклянный корпус приваривается к коваровым втулкам 6. Для получения p-n-перехода диод в процессе изготовления подвергают токовой формовке. С этой целью через него в прямом направлении пропускается кратковременный импульс тока. Малая площадь p-n-перехода не позволяет рассеивать значительные мощности. Поэтому точечные диоды изготавливаются на меньшую мощность, чем плоскостные.

2.5 Статические параметры диода

Вольт-амперная характеристика диода представляет собой нелинейную зависимость между током и напряжением. В общем случае к диоду может быть приложено как постоянное, так и переменное напряжение. Поэтому для полупроводниковых диодов помимо параметров прибора на постоянном токе используют дифференциальные параметры – величины, характеризующие работу прибора на переменном токе.

1. Дифференциальное сопротивление определяет изменение тока через диод при изменении напряжения вблизи некоторого значения U , заданного рабочей точкой.

$$R_i = \frac{dU}{dI}, \quad (2.3)$$

где dU - изменение напряжения;

dI - изменение тока.

2. Сопротивление диода постоянному току

$$R_0 = \frac{U}{I}, \quad (2.4)$$

где U – напряжение и ток I в заданной рабочей точке.

3. Емкости диода. Емкости полупроводниковых диодов играют важную роль в случае использования диодов на высоких и сверхвысоких частотах. В качестве параметра используется общая емкость диода C_0 – емкость, измеренная между выводами диода.

4. Допустимый прямой ток $I_{\text{пр. доп.}}$. Превышение величины $I_{\text{пр. доп.}}$ ведет к нагреву диода.

5. Допустимое обратное напряжение $U_{\text{обр. доп.}}$. Превышение этой величины ведет к пробое диода.

6. Максимальная температура окружающей среды. Она определяется допустимым нагревом перехода. Для германиевых диодов она равна $+75^{\circ}\text{C}$ и $+125^{\circ}\text{C}$ для кремниевых диодов.

7. Минимальная температура окружающей среды.

2.6 Контрольные вопросы

1. Объясните смысл электронной и дырочной проводимости.
2. Чем обусловлена контактная разность потенциалов?
3. Каково влияние внутреннего электрического поля р-п-перехода на движение основных и неосновных носителей тока?
4. Объясните вольт-амперную характеристику диода.
5. Что такое емкость р-п-перехода?
6. Объясните зависимость емкости от напряжения на переходе.
7. Чем объясняется сильное влияние температуры на характеристики диода?
8. Назовите основные параметры диода.
9. Нарисуйте устройство плоскостного диода.
10. Нарисуйте устройство точечного диода.

3 Экспериментальная часть

3.1 Задание

3.1.1. Ознакомиться с устройством и принципом действия полупроводниковых диодов.

3.1.2. Записать паспортные данные исследуемых диодов, зарисовать схему расположения выводов.

3.1.3. Ознакомиться со стендом и аппаратурой для исследования диодов.

3.1.4. Снять прямые характеристики $I = f(U)$ диодов при комнатной температуре и при 60°C .

3.1.5. Снять обратные характеристики $I_{\text{обр}} = f(U_{\text{обр}})$ диодов при комнатной температуре и при 60°C .

3.1.6. измерить дифференциальное сопротивление диодов для нескольких значений прямого тока.

3.2 Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд предназначен для снятия статических характеристик полупроводниковых диодов, а также для определения дифференциального сопротивления в любой рабочей точке прямой характеристики.

Стенд выполнен в виде пульта с закрепленными приборами, блоками питания и элементами регулировки. Общий вид стенда показан на рис. 3.1.

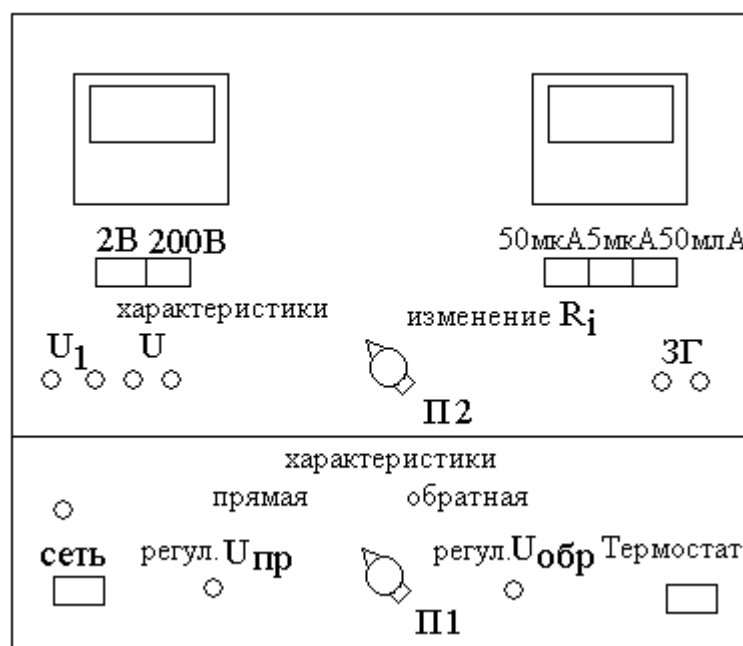


Рисунок 3.1 – Общий вид стенда

Стенд содержит две наклонные лицевые панели, на которых смонтированы измерительные приборы, потенциометры для регулировки напряжений, переключатели режима работы, панель для включения диодов, гнезда для подключения звукового генератора и милливольтметра, кнопки включения стенда и термостата, а также индикаторные лампочки.

Электрическая схема стенда содержит два регулируемых источника постоянного напряжения. Низковольтный источник напряжения предназначен для снятия прямой ветки характеристики диода. Регулировка прямого напряжения осуществляется потенциометром «Рег. U_{пр}». Максимальная величина прямого напряжения составляет +2 В. Высоковольтный источник напряжения позволяет снять обратную ветвь характеристики. Регулировка обратного напряжения от 0 до 100 В осуществляется потенциометром «Рег. U_{обр}». С помощью переключателя режима работы источники напряжений подключаются для снятия прямой и обратной характеристики. Одновременно осуществляется переключение

измерительных приборов. Исследуемые в работе диоды подпаиваются к стандартному цоколю электронной лампы. Цоколь с диодом вставляется в ламповую панель, укрепленную на стенде.

Измерение дифференциального сопротивления производится на переменном напряжении. Напряжение звуковой частоты с амплитудой 1 – 2 В подается от генератора к клеммам «ЗГ». измерение переменного напряжения осуществляется милливольтметром в гнездах «U» и «U1».

Стенд питается от сети переменного напряжения 220 В. Включение напряжения осуществляется кнопкой СЕТЬ. При включении кнопки загорается сигнальная лампочка.

3.3 Снятие статических характеристик

После выполнения трех первых пунктов задания можно перейти к снятию статических характеристик диодов. Сначала снимается прямая характеристика. Для этого необходимо вставить прибор (диод) в панель. Переключатель режима работы П₁ установить в положение ПРЯМАЯ. На рис. 3.8 приведена схема для снятия прямых характеристик диодов.

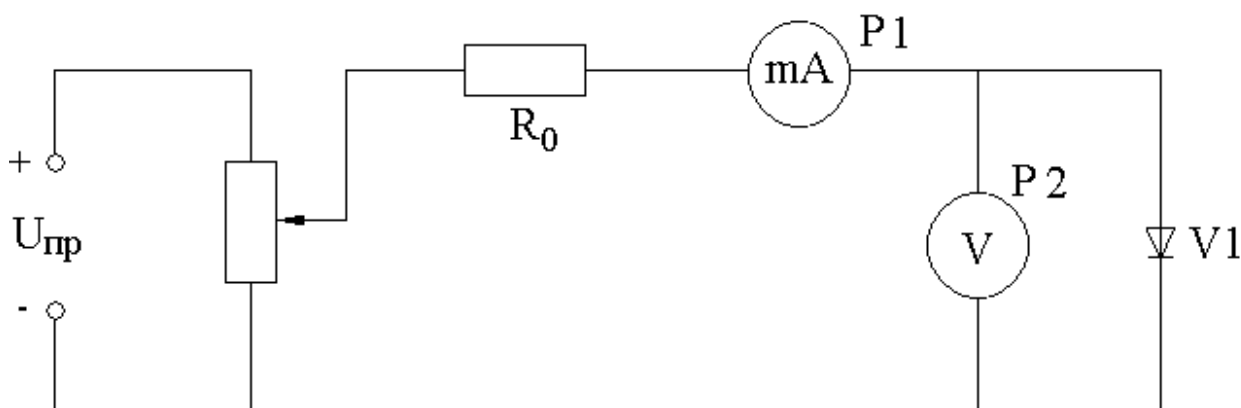


Рисунок 3.8 – Схема для снятия прямых характеристик диодов

При снятии прямых характеристик напряжение изменяется плавно от 0 до 1 В через 0,1 В. полученные экспериментальные данные вписать в таблицу и построить характеристики $I_{пр} = f(U_{пр})$.

Снятие обратных характеристик производится при положении переключателя режима работы П₁ в положении ОБРАТНАЯ. Схема для снятия обратных характеристик полупроводниковых диодов приведена на рис. 3.9.

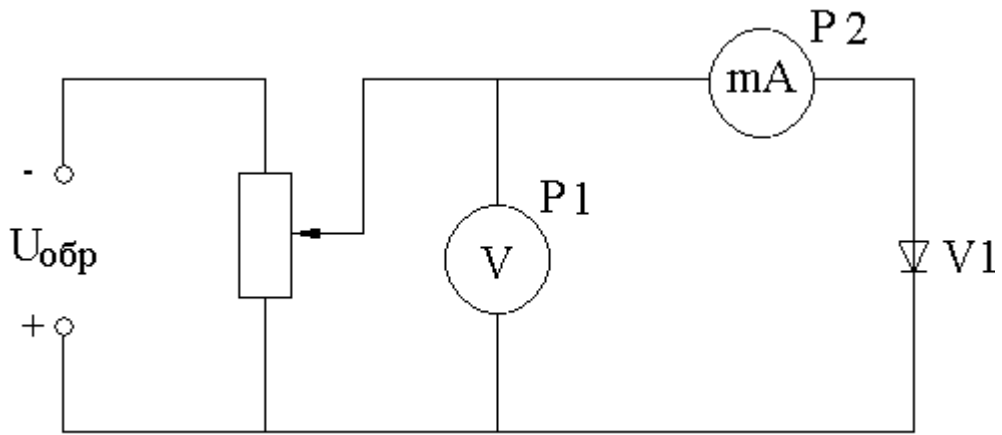


Рисунок 3.9 – Схема для снятия обратных характеристик диода

Обратное напряжение регулируется плавно от 0 до 100 В через 5 В. Шкала токового прибора « I_{OBR} » рассчитана на 50 мкА. По полученным экспериментальным данным построить график $I_{OBR} = f(U_{OBR})$.

3.4 Измерение дифференциального сопротивления

При измерении дифференциального сопротивления диода используется схема, изображенная на рис. 3.10.

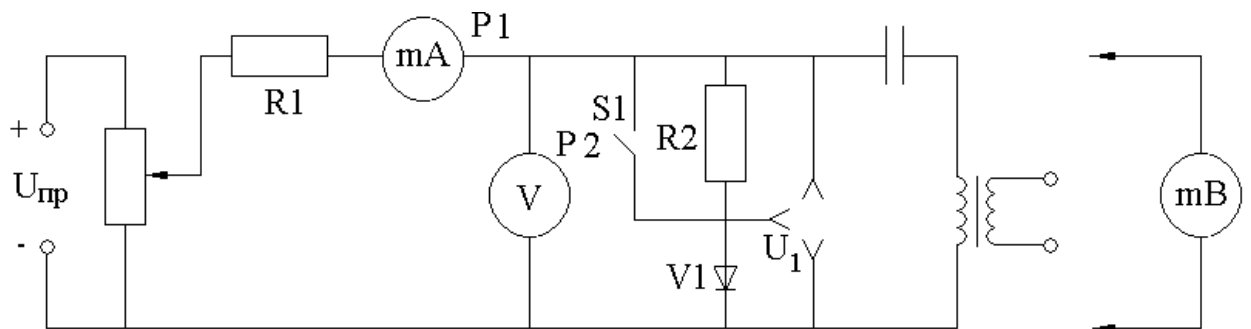


Рисунок 3.10 – Схема для измерения дифференциального сопротивления

Измерение сопротивления производится на переменном напряжении в режиме малых амплитуд. Напряжение звуковой частоты 1-5 кГц от генератора ГЗ-53 через трансформатор подается на диод. При этом переключатель Π_2 должен стоять в положении «измерение R_i ». Ламповым милливольтметром измеряются напряжение на диоде « U_1 » и суммарное падение напряжения « U » на диоде и известном сопротивлении R_2 ($R_2=20$ Ом). Ток, протекающий через диод, может быть определен следующим образом:

$$I_1 = \frac{U - U_1}{R_2} \quad (3.1)$$

Внутреннее сопротивление диода:

$$R_i = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1}{U - U_1} \cdot R_2 \quad (3.2)$$

Измерение внутреннего сопротивления диода производится при нескольких значениях прямого тока.

По результатам вычислений строится график зависимости

$$R_i = f(I_{пр}).$$

3.5 Методические указания

3.5.1. При снятии характеристик диода не следует превышать ток и напряжение выше предельно допустимых значений, указанных в паспортных данных.

3.5.2 Прямая ветвь вольтамперной характеристики строится в первой четверти, а обратная – в третьей четверти.

Масштабы по вертикальной и горизонтальной осям при построении прямых и обратных характеристик выбираются различными. Для каждого типа диода строится отдельный график.

3.6 Содержание отчета

1. Паспортные данные исследуемых диодов
2. Схемы испытаний полупроводниковых диодов
3. Прямые и обратные характеристики диодов
4. Таблицы с экспериментальными данными
5. Графики зависимостей внутреннего сопротивления диода от прямого тока
6. Выводы.

Список литературы

1 Микросхемотехника и наноэлектроника / А.Н. Игнатов. – СПб, 2011 .– 528 с. ISBN 978-5-8114-1161-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2035

2 Электротехника и электроника / Ермуратский П.В., Лычкина Г.П., Минкин Ю.Б. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 417 с ISBN 978-5-94074-688-1 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=908

3 Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - 8-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2006. - 478[2] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Предм. указ.: с. 468-474. - ISBN 5-8114-0368-2 Экз - 98

4 Основы микроэлектроники : Учебное пособие для вузов / И. П. Степаненко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 488 с. : ил. - (Технический университет). - Библиогр.: с. 419. - Предм. указ.: с. 488. - ISBN 5-93208-045-0 Экз – 212

Учебное пособие

Арестов С.И., Шангин А.С.

Исследование полупроводниковых диодов

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40