

Федеральное Государственное Бюджетное
Образовательное Учреждение Высшего Образования
Мытищинский Филиал Московский Государственный Технический
Университет им. Н.Э. Баумана

Н. П. Полуэктов, И. И. Усатов, Т. А. Мазаева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ**

Учебно-методическое пособие

Москва

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана

2021

УДК 53.536
ББК. 22.3

Факультет «Космический»

Кафедра «Высшая математика и физика»

Рекомендовано научно-методическим советом

МГТУ им. Н.Э.Баумана в качестве учебно-методического пособия

Рецензент к. физ.-мат. наук О.В. Русаков

Н. П. Полуэктов.

Исследование вольтамперных характеристик полупроводниковых диодов: учебно-методическое пособие / Н.П. Полуэктов, И.И.Усатов, Т.А. Мазаева – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – 25 с.: илл.

В работе рассмотрены основные сведения о свойствах полупроводникового диода, описана лабораторная установка, изложена методика измерений вольтамперных характеристик полупроводниковых диодов.

Для студентов всех технических специальностей Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (уровень бакалавриата и специалитета), изучающих дисциплину «Физика».

УДК 53.536

ББК. 22.3

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

© Оформление. Издательство МГТУ

им. Н.Э. Баумана, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
1 Теоретическая часть	5
1.1 Физические основы работы полупроводникового диода	7
1.2 Собственные полупроводники	8
1.3 Примесные полупроводники	10
1.4 P-n переход	12
2 Экспериментальная часть	16
2.1 Описание экспериментальной установки	16
2.2 Типы полупроводников, исследуемых в лабораторной работе.	17
2.3 Порядок выполнения работы	19
3 Исследование ВАХ	20
4 Форма отчета о работе	24
5 Контрольные вопросы	24
6 Список литературы	25

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие посвящено исследованию вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов. Данная работа соответствует рабочей программе дисциплины «Физика» и предназначена для студентов всех технических специальностей Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (уровень бакалавриата и специалитета).

Целью данной лабораторной работы является изучение особенностей вольтамперных характеристик (ВАХ) различных типов полупроводниковых диодов.

Для выполнения лабораторной работы необходимо изучить следующий теоретический материал:

1. Основы физики полупроводников.
2. Собственные и примесные полупроводники.
3. Принцип работы полупроводниковых диодов.
4. Какие бывают полупроводниковые диоды.
5. Параметры полупроводниковых диодов.

Цель лабораторной работы:

1. Научить студента работе на экспериментальной установке.
2. Изучить особенности вольтамперных характеристик различных типов полупроводниковых диодов.
3. Провести исследование вольтамперных характеристик (ВАХ) полупроводникового кремниевого (*Si*) диода Шоттки 1N5817, германиевого (*Ge*) диода Д9Б, стабилитрона Д814А при прямом и при обратном включении и кремниевого (*Si*) светодиода GNL-3012HD.

Задачи лабораторной работы:

1. Создать у студентов навыки ведения лабораторного журнала, построения графиков, обработки экспериментальных результатов.
2. Научить составлять отчет по выполненной работе.
3. Закрепить теоретические знания по работе полупроводниковых диодов.

Описание работы составлено так, чтобы ясное представление о существе изучаемых явлений и применяемом методе измерений могли себе составить как те студенты, которые уже прослушали этот материал на лекциях, так и те, которые только приступают к изучению соответствующего раздела физики. Учебный материал содержит необходимую информацию для организации самостоятельной работы студента при выполнении лабораторной работы.

1. Теоретическая часть

1.1. Физические основы работы полупроводникового диода

К полупроводникам относятся твердые тела, которые по своим электрическим свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. У полупроводников удельное сопротивление при комнатной температуре изменяется в широких пределах: от 10^{-4} до 10^{10} Ом·см. У металлов (проводников) удельное сопротивление меньше 10^{-4} Ом·см. К диэлектрикам относятся твердые тела, у которых удельное сопротивление больше 10^{10} Ом·см.

Отличительной особенностью полупроводников является сильная зависимость удельного сопротивления от внешних факторов: температуры, концентрации примесей, действия света и ионизирующих излучений.

Для создания современных полупроводниковых приборов в качестве исходного материала применяются элементарные полупроводники: германий *Ge*, кремний *Si*, селен *Se*, теллур *Te* (элементы четвертой группы таблицы Менделеева); соединения A^mB^v (A^m — элементы третьей группы таблицы Менделеева, B^v — элементы пятой группы): арсенид галлия *GaAs*, арсенид индия *InAs*, фосфид галлия *GaP*, карбид кремния *SiC*.

Каждый электрон, входящий в состав атома, обладает определенной энергией (занимает определенный энергетический уровень). Структуры атомов различных элементов имеют оболочки, полностью заполненные электронами (внутренние), и незаполненные (внешние) оболочки. Электроны внешней оболочки атома называются валентными.

Изолированные атомы (находящиеся на большом расстоянии друг от друга), имеют отдельные энергетические уровни (рис. 1). В кристалле, состоящем из N атомов, атомы находятся на очень близком расстоянии друг от друга и поэтому взаимодействуют друг с другом. Согласно принципу Паули, ни одна пара электронов в системе не может находиться в одном энергетическом состоянии. Поэтому при образовании кристалла каждый

энергетический уровень изолированного атома расщепляется на N очень близко расположенных уровней и образуется энергетическая зона. На рисунке 1 показано расщепление энергетических уровней в зависимости от расстояния r между атомами. Из него видно, что заметно расщепляются и расширяются лишь уровни внешних, валентных электронов, наиболее слабо связанных с ядром. Уровни же внутренних электронов либо совсем не расщепляются, либо расщепляются слабо. Расстояние между соседними энергетическими уровнями в зоне очень малое, порядка 10^{-22} эВ. Совокупность уровней, на каждом из которых могут находиться электроны, называют **разрешенной зоной**.

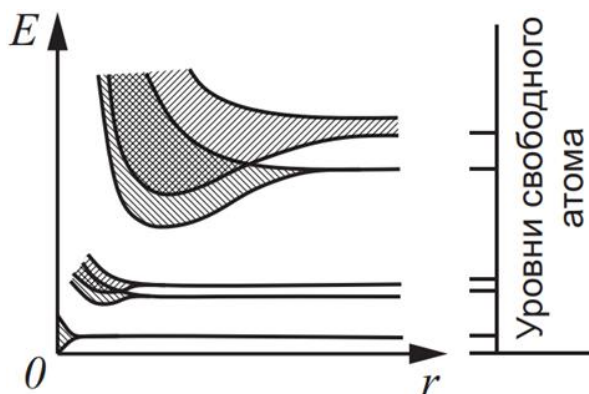


Рис.1. Состояние уровней энергий от расстояния между атомами.

Разрешенные энергетические зоны разделены зонами запрещенных значений энергии, называемыми **запрещенными энергетическими зонами**.

В энергетическом спектре твердого тела можно выделить три зоны: зона проводимости, запрещенная зона и валентной. **Валентная зона** – это разрешенная зона, в которой все энергетические уровни при $T = 0 K$ заполнены электронами.

Зона проводимости состоит из валентных электронов, которые под воздействием электрического поля, тепла, света и других причин могут отделяться от атома и становиться свободными. Они могут передвигаться внутри твердого тела под действием электрического поля.

1.2. Собственные полупроводники

На рисунке 2 показана структура энергетических зон собственного полупроводника при температуре равной нулю (а) и отличной от нуля (б) градуса Кельвина. **Собственными** полупроводниками называются полупроводники, в которых отсутствуют примеси и дефекты.

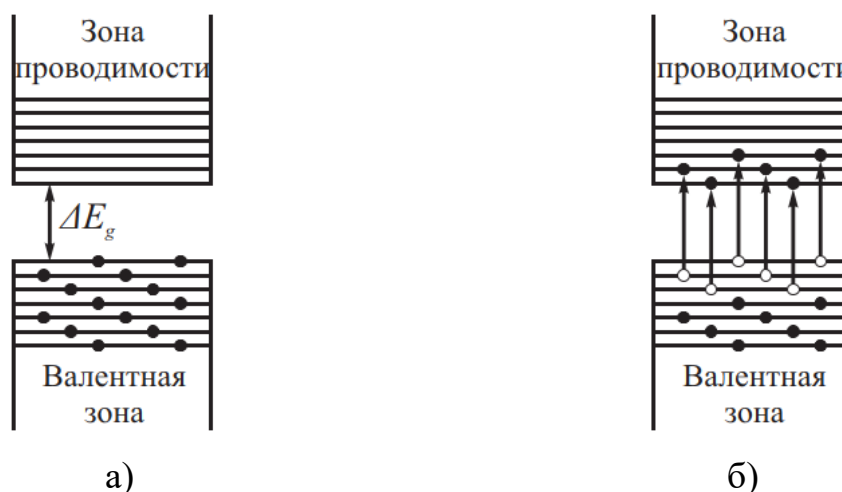


Рис.2. Структура энергетических зон полупроводника. а) $T = 0 \text{ K}$, б) $T > 0 \text{ K}$.

У металлов и их сплавов запрещенная зона отсутствует, так как в этом случае зона проводимости и валентная зона перекрываются. Такие вещества обладают хорошей проводимостью и называются проводниками.

На рисунке 3 схематически изображены валентные связи полупроводников с решеткой кремния. У наиболее применяемого полупроводника - кремний (Si) — четыре валентных электрона. Каждым данным атом связан с четырьмя соседними двумя валентными электронами. Все электроны связаны и постоянный ток не может протекать. Чтобы разорвать электронные связи между атомами и создать в таком кристалле свободные электроны, способные переносить электрический ток, необходимо затратить энергию, равную E_g . Валентный электрон может получить эту энергию за счет тепловых колебаний атомов кремния или падающего на кристалл света. Электрон перейдет из валентной зоны в зону проводимости и сможет свободно перемещаться по всему кристаллу.

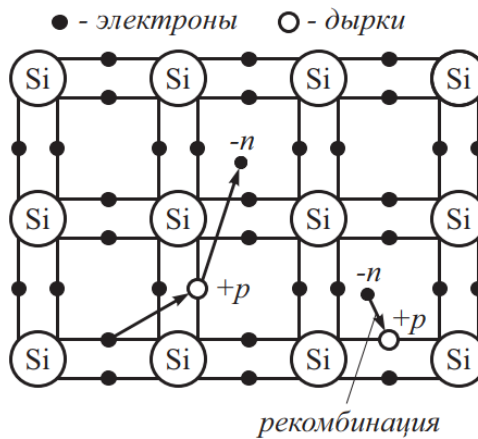


Рис.3. Схематическое изображение валентных связей в кристалле кремния

После ухода электрона в валентных связях образуется **вакансия**, которая называется **дыркой**. Атом со свободной валентной связью оказывается заряженным положительно и будет притягивать к себе соседние электроны, находящиеся на валентных связях. К новому освободившемуся месту опять будут стремиться соседние электроны и т. д. Если к кристаллу приложить внешнее напряжение, то свободные электроны будут дрейфовать **против поля (от минуса к плюсу)**, а разорванная связь (дырка) – от плюса к минусу **вдоль поля**, создавая электрический ток. Еще раз подчеркнем: на самом деле перемещаются электроны. Дырка есть просто отсутствие электрона. Концентрация свободных электронов в собственном полупроводнике обозначается n_i , а концентрация дырок p_i .

Хаотическое тепловое движение непрерывно разрывает связи между атомами и создает (**генерирует**) свободные электроны и дырки. Блуждая по кристаллу свободный электрон из зоны проводимости может занять место вакансии (дырки). При этом электрон и дырка как свободные носители взаимно уничтожаются. Взаимное уничтожение электрона и дырки при столкновении называется **рекомбинацией**.

Концентрация свободных электронов n_i равна концентрации дырок p_i . Эти концентрации определяются вероятностью заполнения электронами уровней энергии E - функцией Ферми $f(E)$:

$$f(E) \approx \exp(E_F - E) / kT \quad (1)$$

Здесь k — постоянная Больцмана, E_F — энергия Ферми, энергия такого энергетического уровня, вероятность заполнения которого равна 0.5. В собственном полупроводнике уровень Ферми находится примерно в середине запрещенной зоны E_g . В собственном полупроводнике при неизменной температуре устанавливается динамическое равновесие: сколько электронов и дырок в одну секунду создается, столько же их будет исчезать (рекомбинировать). Равновесная концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике определяется формулой:

$$n_i = \sqrt{N_C N_D} \exp(-E_g / 2kT) \quad (2)$$

Здесь N_C , N_V - эффективные плотности состояний в валентной зоне и зоне проводимости. Для кремния эти величины порядка 10^{19} см^{-3} . Как следует из формулы (1), собственная концентрация носителей тока в полупроводнике тем больше, чем меньше ширина запрещенной зоны и чем выше температура.

1.3. Примесные полупроводники

Полупроводник, состоящий из кристалла германия или кремния, с примесью элементов третьей или пятой группы таблицы Менделеева, называется **примесным**. Различают **донорную** и **акцепторную** примесь. Если в кремний внести мышьяк или фосфор, у которых пять валентных электронов, то такой атом называют донором, а полупроводник n – типа. Донор отдает четыре своих электрона на образование валентных связей с четырьмя ближайшими атомами основного четырехвалентного полупроводника, а один электрон оказывается «лишним», не занятым в образовании валентных связей. Этот «лишний» пятый электрон относительно слабо связан с атомом примеси, и при его отрыве атом примеси становится положительным ионом. Энергия ионизации донорного уровня обозначается E_D и она значительно меньше энергии ионизации атома кремния E_g . На зонной диаграмме (рис. 4, а) донорные уровни изображаются линией, лежащей в запрещенной зоне на расстоянии E_D от дна зоны проводимости E_C . Мелкие доноры (т. е. доноры, для которых $E_D \ll E_g$) при комнатной температуре полностью ионизованы.

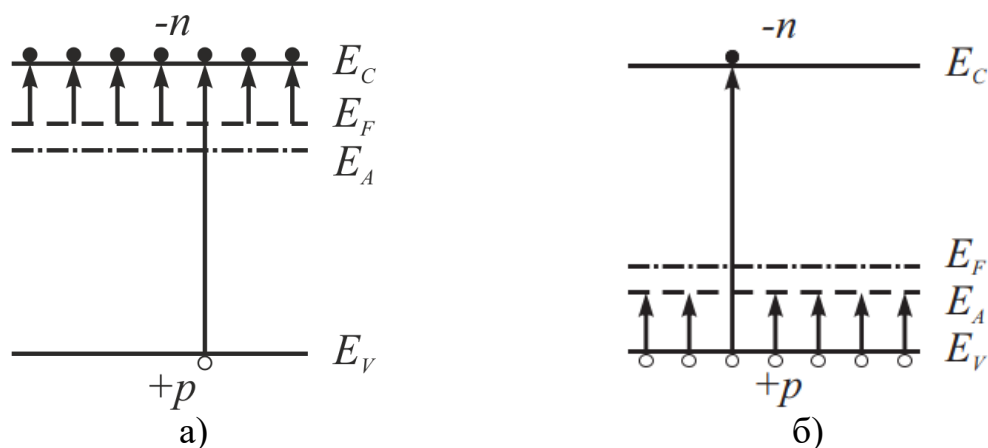


Рис.4. Зонная диаграмма примесных полупроводников. а) n - типа, б) p – типа.

Вероятность перехода электрона из валентной зоны кремния в зону проводимости (длинная стрелка на рис.4, а) и соответственно появлению дырки в валентной зоне значительно меньше. Поэтому концентрация электронов в зоне проводимости при комнатной температуре практически равна концентрации донорной примеси N_D , а концентрация дырок намного меньше. Электроны в полупроводнике n -типа называются основными носителями тока, а дырки - неосновными.

Если валентность атома примеси меньше, чем валентность атомов основного вещества, то примесь называют **акцепторной**. Для кремния и германия такими элементами являются 3-х валентные бор, алюминий, индий, галлий. Полупроводник, легированный акцепторной примесью, называется полупроводником p -типа. У трехвалентного элемента не хватает одного электрона для образования полноценной валентной связи с атомом основного вещества. Образуется вакансия, место которой может занять электрон, перешедший с соседнего атома основного вещества. Этот процесс происходит только при получении электроном энергии, равной энергии ионизации акцепторного уровня, которая обозначается E_A . Ионизованный атом примеси окажется отрицательно заряженным ионом, а атом основного вещества, с которого перешел электрон, зарядится положительно и будет стремиться захватить соседние электроны. Вакансия начнет перемещаться по кристаллу,

в валентной зоне появится дырка. Зонная диаграмма полупроводника p -типа изображена на рис.4, б. При комнатной температуре мелкие акцепторы, у которых $E_A \ll E_g$, оказываются полностью ионизованными. Концентрация дырок при $T = 300$ К практически равна концентрации примеси N_A , а концентрация электронов в зоне проводимости ничтожно мала. В полупроводнике p -типа дырки называются основными носителями тока, а электроны - неосновными носителями, т. к. их мало.

1.4. P-n переход

В диодах используется переход между двумя областями полупроводника с разнотипной проводимостью, который называется электронно-дырочным переходом или p - n -переходом.

Рассмотрим физические процессы, происходящие в p - n переходе при нулевом внешнем напряжении на переходе. До соединения n и p полупроводники нейтральны, т.е. число положительных зарядов равно отрицательным. Пусть донорный полупроводник приводится в контакт (рис. 5, а) с акцепторным полупроводником. Поскольку концентрация электронов в

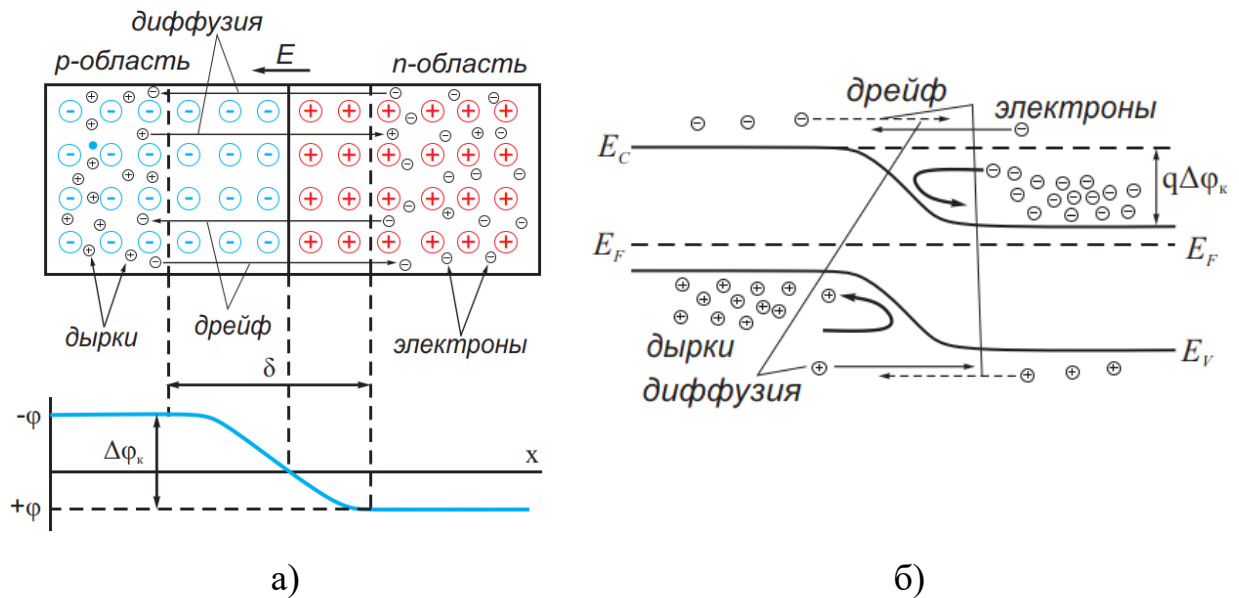


Рис.5. P–n-переход при отсутствии внешнего напряжения а) и его зонная диаграмма б).

n -области намного больше концентрации электронов в p -области, а концентрация дырок в p -области намного больше концентрации дырок в n -

области, то на границе раздела полупроводников возникают градиенты (перепады) концентрации подвижных носителей заряда (дырок и электронов). Электроны из n -полупроводника, где их концентрация выше, будут диффундировать в p -полупроводник, где их концентрация ниже. Диффузия же дырок происходит в обратном направлении - в направлении $p \rightarrow n$. Поскольку любое направленное движение одноименно заряженных частиц есть электрический ток. Полная плотность диффузионного тока, обусловленная направленным перемещением носителей электрического заряда из мест с большей концентрацией в места, где их концентрация меньше, определяется как:

$$J_{\text{диф}} = q(D_n \frac{dn}{dx} + D_p \frac{dp}{dx}), \quad (3)$$

Где D_n , D_p – коэффициенты диффузии, а $\frac{dn}{dx}$, $\frac{dp}{dx}$ – градиенты электронов и дырок соответственно.

В n -полупроводнике из-за ухода электронов вблизи границы остается нескомпенсированный положительный объемный заряд неподвижных ионизованных донорных атомов. В p -полупроводнике из-за ухода дырок вблизи границы образуется отрицательный объемный заряд неподвижных ионизованных акцепторов (рис.5, а). Эти объемные заряды образуют у границы двойной электрический слой шириной δ , поле E_0 которого, направленное от n -области к p -области, препятствует дальнейшему переходу электронов в направлении $n \rightarrow p$ и дырок в направлении $p \rightarrow n$. Между этими зарядами возникает электрическое поле с напряжённостью E , которое называют полем потенциального барьера, а разность потенциалов на границе раздела двух зон, обуславливающих это поле, называют контактной разностью потенциалов $\Delta\varphi$. В n - и p -областях полупроводника, кроме **основных** носителей, существуют **неосновные** носители: дырки в n -области и электроны в p -области. Поле p - n -перехода является ускоряющим для **неосновных** носителей заряда. В результате устанавливается динамическое

равновесие: поток зарядов в следствие диффузии уравнивается дрейфовым потоком из-за электрического поля. **Дрейфом** называют направленное движение носителей заряда под действием электрического поля. Усредненная скорость этого направленного движения называется дрейфовой скоростью. Плотность дрейфового тока, связанную с движением электронов и дырок, можно выразить через дрейфовую скорость $v_{др}$:

$$j_{др.n} = -qnv_{др.n}, j_{др.p} = -qpv_{др.p} \quad (4)$$

Дрейфовая скорость почти всегда пропорциональна электрическому полю E :

$$v_{др.n} = -\mu_n E, v_{др.p} = \mu_p E, \quad (5)$$

где μ_n и μ_p – подвижность электронов и дырок.

Величина потенциального барьера определяется по формуле:

$$q\Delta\varphi = kT \ln \frac{n_n p_p}{n_i^2} \quad (6)$$

где n_n – концентрация электронов в n -области, а p_p – концентрация дырок в p -области. После образования p - n -перехода p - и n -области объединены в единую квантово-механическую систему с единым уровнем Ферми. Выравнивание уровня Ферми в n - и p -областях приводит к искривлению энергетических зон вблизи p - n -перехода (рис. 5 б). Появляется энергетический барьер $q\Delta\varphi$, который необходимо преодолеть электрону в области n , чтобы он мог перейти в область p , или аналогично для дырки в области p , чтобы она могла перейти в область n .

Когда внешнее напряжение приложено навстречу контактной разности потенциалов, то такое включение p - n перехода называют **прямым**. Происходит движение электронов в n -полупроводнике и дырок в p -полупроводнике к границе p - n перехода навстречу друг другу. В этой области

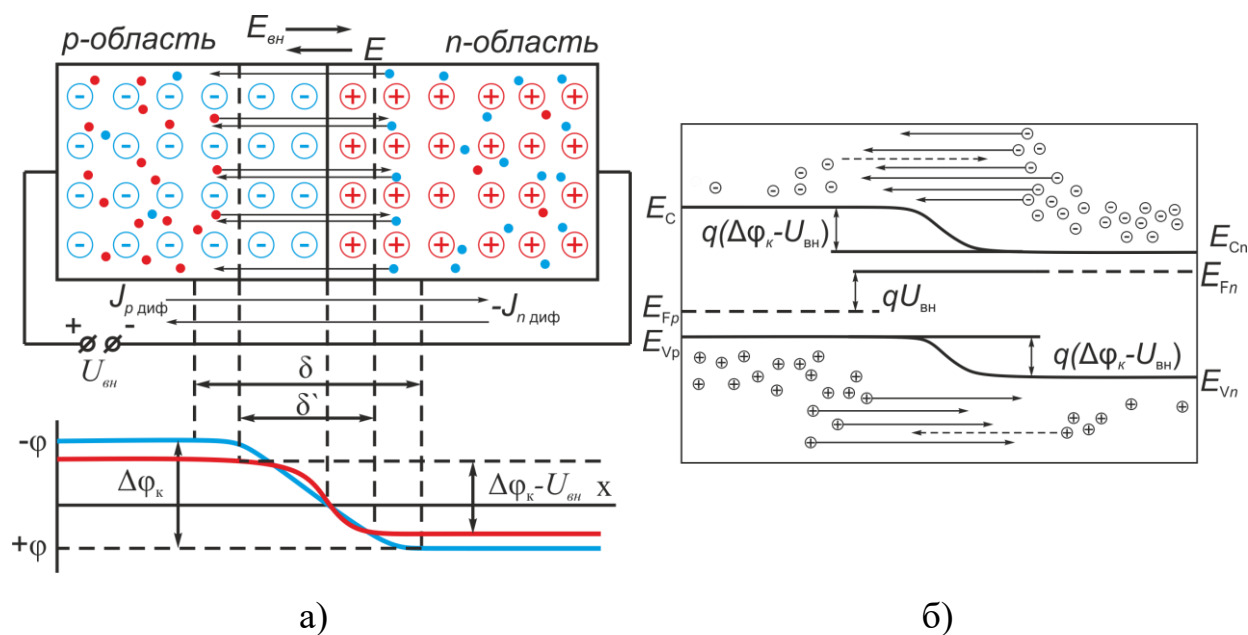


Рис.6. Прямое смещение p - n -перехода -а) и его зонная диаграмма -б).

они рекомбинируют, высота энергетического барьера, толщина контактного слоя и его сопротивление уменьшаются (рис.6, а). В цепи протекает электрический ток, при этом диффузионная составляющая тока через переход увеличивается, а дрейфовая - уменьшается. Величина тока при прямом включении определяется формулой:

$$I = I_{\text{насыщ}} \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right], \quad (7)$$

где $I_{\text{насыщ}}$ – ток насыщения, определяемый диффузией. Таким образом, прямой ток возрастает экспоненциально с ростом напряжения.

Если приложенное к p - n переходу внешнее электрическое поле направлено от n -полупроводника к p -полупроводнику (рис.7), т.е. совпадает с полем контактного слоя, то оно вызывает движение электронов в n -полупроводнике и дырок в p -полупроводнике от границы p - n перехода в противоположные стороны. В результате высота энергетического барьера растет, запирающий слой расширится и его сопротивление возрастет, а ток уменьшится. Такое включение p - n перехода называется **обратным**. В этом направлении электрический ток через p - n переход практически не проходит.

Ток в запирающем направлении образуется лишь за счет неосновных носителей тока (электронов в p -полупроводнике и дырок в n -полупроводнике),

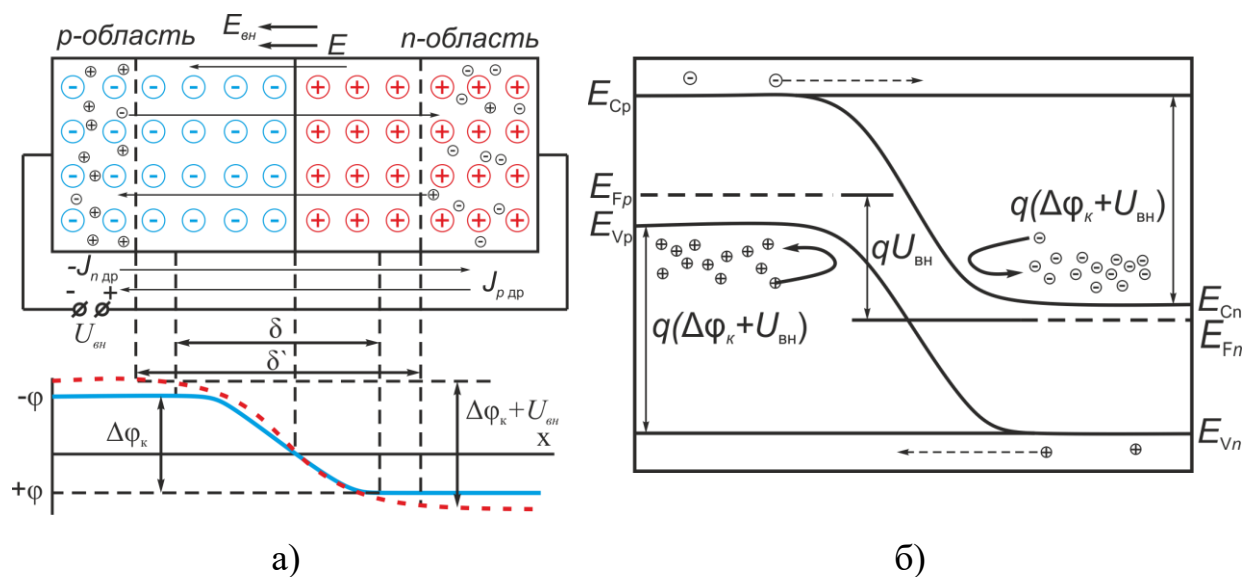


Рис.7. Обратное смещение p - n -перехода – а) и его зонная диаграмма – б).

концентрация которых на порядки меньше основных. Поэтому ток через полупроводник при обратном включении мал. Ток слабо изменяется при увеличении отрицательного напряжения, но затем происходит резкое его увеличение.

Таким образом, p - n переход обладает односторонней (вентильной) проводимостью.

2. Экспериментальная часть

2.3. Описание экспериментальной установки

На рисунке 8 представлена электрическая схема лабораторной установки. Так ток идёт от регулируемого источника питания с максимальным выходным напряжением 15 В на меняющий направление тока переключатель. Далее ток направляется на нужный диод с помощью галетного переключателя.

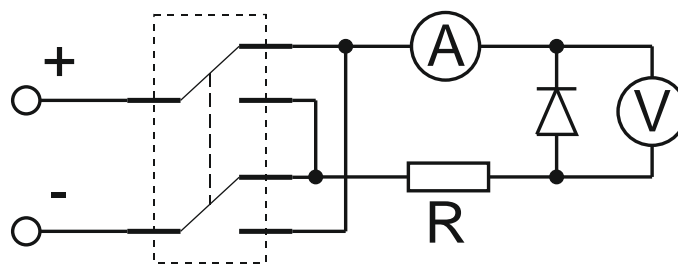
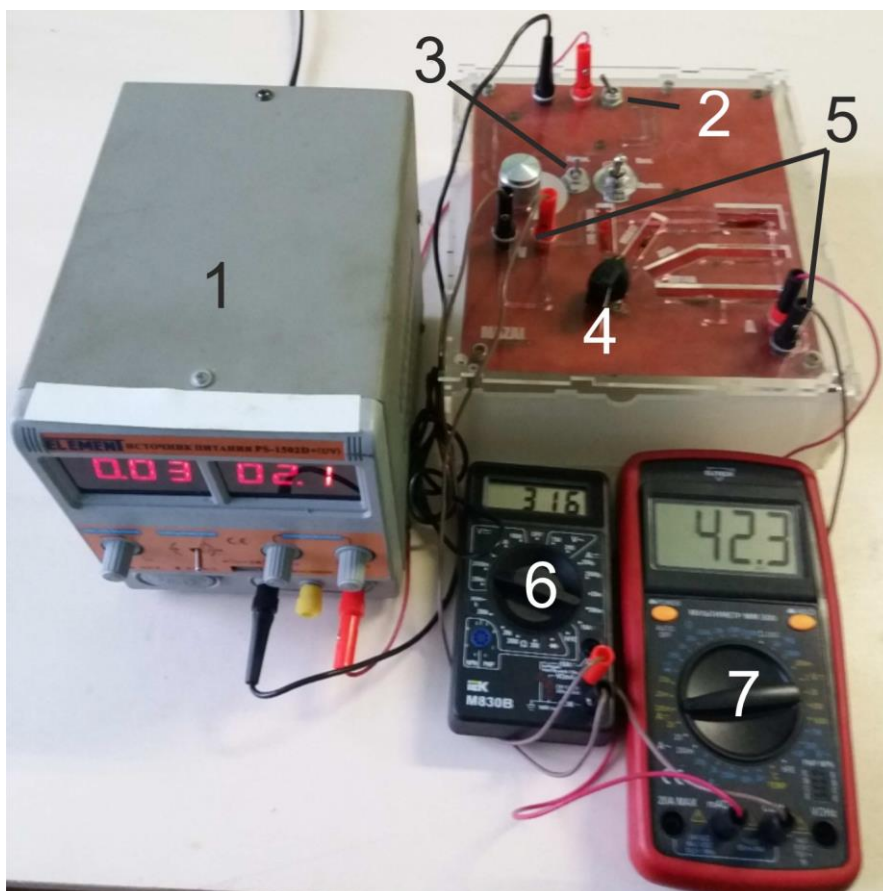


Рис. 8. Электрическая схема экспериментальной установки

На рисунке 9 показано лабораторная установка, где:

1. Источник питания
2. тумблер вкл – выкл.;
3. переключатель направления тока;
4. переключатель диодов;
5. гнезда для измерителей тока и напряжения;
6. вольтметр;
7. амперметр



ис. 9. Лабораторная установка

2.4. Типы полупроводников, исследуемых в лабораторной работе

Семейство полупроводниковых диодов очень большое. Внешне они очень похожи за исключением некоторых групп, которые отличаются конструктивно и по ряду параметров. В данной лабораторной работе исследуются следующие полупроводники:

1) Германиевый диод малой мощности Д9Б, предназначенный для выпрямления переменного тока.

2) Кремниевый диод Шоттки 1N5817, предназначенный для работы в импульсных преобразователях и стабилизаторах напряжения. Например, в блоках питания персональных компьютеров.

В диодах Шоттки в качестве барьера используется переход металл-полупроводник, в отличие от обычных диодов, где используется $p-n$ переход. Переход металл-полупроводник обладает рядом особенных свойств (отличных от свойств полупроводникового $p-n$ перехода). К ним относятся:

- пониженное падение напряжения при прямом включении;
- высокий ток утечки;

3) Кремниевый стабилитрон Д814А - полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. До наступления пробоя через стабилитрон протекают незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко. Однако при превышении определенного уровня U , обратный ток реального $p-n$ перехода быстро увеличивается, т.е. наступает пробой. Механизм **электрического** пробоя заключается в лавинном размножении носителей заряда в сильном электрическом поле под действием ударной ионизации. Электрон и дырка в запиорном слое $p-n$ перехода, ускоренные электрическим полем на длине своего свободного пробега, могут при столкновении с решеткой кристалла разорвать валентную связь. В результате рождается новая пара «электрон-дырка» и процесс повторяется под действием этих новых носителей. При наступлении пробоя ток через стабилитрон резко возрастает, а его дифференциальное сопротивление падает

до величины, составляющей для различных приборов от долей Ома до сотен Ом. Поэтому в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов. Основное назначение стабилитронов - стабилизация напряжения.

4) Светодиод GNL-3012HD. Светодиоды – диоды, создающие оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. При пропускании электрического тока через р-n-переход в прямом направлении неосновные носители - электроны и дырки - движутся навстречу и рекомбинируют в обеднённом слое диода с излучением фотонов из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой. Для светодиодов, изготовленных из арсенида галлия, $\lambda = 0,9...1,4$ мкм (инфракрасное излучение), из фосфида галлия $\lambda = 0,7$ мкм (красное излучение) и из карбида кремния $\lambda = 0,55$ мкм (желто-зеленое излучение). Для изготовления светодиодов используются и другие полупроводниковые структуры GaN, InP, ZnSe, CdTe, PbS.

2.3. Порядок выполнения работы

В каждом задании необходимо исследовать вольт-амперные характеристики 2-х разных диодов, определить их параметры и объяснить причину их различия.

1. Подключить к установке измерители;

Будьте внимательны при подключении амперметра вставьте черный провод в разъем «com» – это земля, а красный провод в разъем, отмеченный как «mA». А при подключении вольтметра красный провод следует вставить в разъем, отмеченный как «V», а черный провод также как и при подключении амперметра следует вставить в разъем «com».

2. на вольтметре вращающийся переключатель установить в положение – V 20 В;

3. на амперметре вращающийся переключатель установить в положение - A 20 мА;

5. перевести галетный переключатель на нужный диод;
6. перевести переключатель направления тока в положение «прям»;
7. включить источник питания
8. регулятором установить напряжение 0 В;
9. перевести тумблер включения в положение «ON»;
10. Изменяя напряжения регулятором 4 на источнике питания, измерить и записать соответствующие значения напряжения U и тока I на полупроводниковых диодах в таблицу 1.

3. Исследование ВАХ

Увеличивая напряжение на источнике от 0 В, записать показания амперметра и вольтметра в таблицу. Для каждого диода создается отдельная таблица.

Для германиевого диода **Д9Б** прямое напряжение изменяется от 0 до 0.3 В с шагом 0.05 В, далее до 0.5 В с шагом 0.025 В. Обратное напряжение изменяется от 0 до 8 В с шагом 1 В. Обратный ток измеряется в микроамперах, для этого вращающийся переключатель на амперметре перевести в положение 20 мкА.

Для диода Шоттки **1N5817** прямое напряжение изменяется от 0 до 0.2 В с шагом 0.05 В, далее до 0.4 В с шагом 0.025 В. Обратное напряжение изменяется от 0 до 10 В с шагом 1 В. Обратный ток измеряется в микроамперах, для этого вращающийся переключатель на амперметре перевести в положение 20 мкА.

Для светодиода **GNL-3012HD** прямое напряжение изменяется от 0 до 1.2 В с шагом 0.1 В, далее до 1.55 В с шагом 0.05 В. Обратное напряжение изменяется от 0 до 7 В с шагом 1 В. Обратный ток измеряется в микроамперах, для этого вращающийся переключатель на амперметре перевести в положение 20 мкА.

Для стабилитрона Д814А прямой и обратный ток измеряется в микроамперах, для этого вращающийся переключатель на амперметре перевести в положение 20 мкА. Прямое напряжение изменяется от 0 до 0.4 В с шагом 0.1 В, далее до 0.55 В с шагом 0.025 В. Обратное напряжение изменяется от 0 до 7 В с шагом 1 В, далее до 7.5 В с шагом 0.2 В.

Постройте график зависимости тока I от напряжения U при прямом и обратном ходе для каждого диода. По данным ВАХ и таблицы 1 для стабилитрона Д814А определить напряжение пробоя $U_{проб}$, обратного тока утечки $I_{оту}$.

Таблица 1

п/п	Название полупроводникового диода			
	$I_{пр}$, мА	$U_{пр}$, В	$I_{об}$, мкА	$U_{об}$, В
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

Для всех остальных диодов определить параметры, указанные ниже, используя обозначения на рис.10.

На рисунке 10 приведена типичная вольт-амперная характеристика диода.

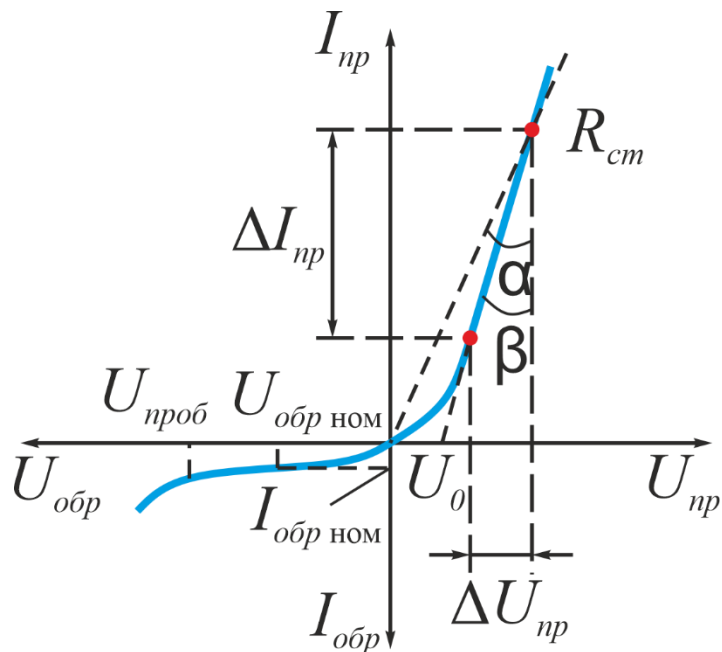


Рис.10. Типичная вольт-амперная характеристика диода.

По вольт амперной характеристики диода можно определить следующие основные его параметры:

4. Номинальный средний прямой ток $I_{пр. ср. ном.}$ – среднее значение тока, проходящего через открытый диод и обеспечивающего допустимый его нагрев при номинальных условиях охлаждения.
5. Номинальное среднее прямое напряжение $U_{I_{пр. ср. ном.}}$ – среднее значение прямого напряжения на диоде при протекании номинального среднего прямого тока.
6. Напряжение отсечки U_0 , определяемого точкой пересечения линейного участка прямой ветви ВАХ с осью напряжений.
7. Пробивное напряжение $U_{проб}$ – обратное напряжение на диоде, соответствующее началу участка пробоя на ВАХ, когда она претерпевает излом в сторону резкого увеличения обратного тока.

8. Статическое сопротивление диода:

$$R_{ст} = \frac{U_{np}}{I_{np}} = tg \alpha \quad (6)$$

Где I_{np} – величина прямого тока диода; U_{np} – падение напряжения на диоде при протекании тока I_{np} . Статическое сопротивление диода представляет собой его сопротивление постоянному току.

9. Динамическое (дифференциальное) сопротивление $R_{дин}$:

$$R_{дин} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}} = tg \beta \quad (7)$$

Где ΔU_{np} – приращение прямого тока диода; ΔI_{np} – приращение падения напряжения на диоде при изменении его прямого тока на ΔI_{np}

4. Форма отчета о работе

Отчет по выполненной лабораторной работе должен содержать следующее:

1. Титульный лист лабораторной работы согласно образцу.
2. Конспект теоретической части работы.
3. Методику эксперимента и краткое описание лабораторной установки.
4. Заполненные таблицы с экспериментальными данными.
5. Обработку экспериментальных данных согласно методическим указаниям в данной работе. В случае обработки данных эксперимента в *Excel* – распечатку скриншота и файл с результатами обработки.
6. Выводы по выполненной работе.

5. Контрольные вопросы

1. Какое удельное сопротивление у металлов, полупроводников и диэлектриков?
2. Показать схему энергетических зон металлов, полупроводников и диэлектриков.

3. Что такое собственный полупроводник? Процессы генерации и рекомбинации.
4. Доноры. Зонная диаграмма примесных полупроводников n - типа.
5. Акцепторы. Зонная диаграмма примесных полупроводников p - типа
6. Прямое и обратное включение p - n перехода.
7. Что такое диод Шоттки?
8. Как работает стабилитрон?
9. Параметры полупроводниковых диодов.
10. Что такое светодиод?

6. Используемая литература

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк. 2015. - 608с.: ил.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – 5-е изд. испр. – М.: Высш. шк. 2015. - 542 с.: ил.
3. Бурбаева Н. В., Днепровская Т. С. Основы полупроводниковой электроники. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 312 с.