

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний к лабораторным работам

Составители:
А.И. Колпаков,
В.А. Колпаков,
С.В. Кричевский

САМАРА
Издательство Самарского университета
2016

УДК 621.3(075)
ББК 31.2я7

Составители: *А.И. Колпаков, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский*

Рецензент канд. техн. наук, доц. К. Е. В о р о н о в

Исследование статических характеристик полупроводникового диода:
метод. указания к лабораторной работе / сост.: *А.И. Колпаков, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский*. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2016. – 20 с.

Приведены физические основы работы полупроводникового диода, механизмы формирования диффузионного, дрейфового токов, емкостных и частотных свойств p - n -перехода, теоретические сведения по анализу особенностей его конструкции. Описан порядок расчета параметров полупроводникового диода и приведена методика выполнения лабораторной работы.

Рекомендуется для студентов направлений подготовки: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.01 Радиотехника при изучении дисциплины «Электроника». Подготовлены на кафедре «Конструирование и технология электронных систем и устройств»

УДК 621.3(075)
ББК 31.2я7

Цель работы: закрепление знаний в области физики полупроводниковых приборов путем изучения вольтамперной характеристики, частотных и емкостных свойств p - n -перехода.

Задание:

1. По конспекту лекций, данным методическим указаниям и рекомендованной литературе изучить теоретические основы полупроводникового диода.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.
3. Выполнить предварительные расчеты.
4. Изучить порядок выполнения работы.
5. Включить лабораторный стенд.
6. Выполнить необходимые расчеты, снять экспериментальные результаты и построить графики требуемых в работе зависимостей.
7. Провести анализ полученных результатов, сделать выводы.

Приборы и принадлежности: лабораторный стенд, вольтметр, миллиамперметр, термометр, набор полупроводниковых диодов.

Физические свойства полупроводниковых диодов

Основной и наиболее сложной в изучении и изготовлении структурой полупроводниковых приборов является p - n -переход, представляющий собой электропреобразовательный элемент, имеющий два вывода от p - и n -областей соответственно. Контакты типа p - n -перехода чаще всего используют при изготовлении транзисторов, тиристоров и выпрямителей, а также других элементов, обладающих нелинейными свойствами.

На границе раздела p - и n -областей возникает потенциальный барьер, обусловленный перераспределением концентраций подвижных носителей заряда между контактирующими материалами (электронов и дырок). Электрические свойства возникшего граничного слоя оказываются зависящими от величины и полярности приложенного внешнего напряжения. Если контакт полупроводников p - и n -типов проводимости

обладает нелинейной вольтамперной характеристикой (ВАХ), т.е. если их электрическое сопротивление при одной полярности напряжения больше, чем при другой, то граничный слой такого контакта называют, *выпрямляющим p-n-переходом*.

По характеру структуры *p-n*-переходы подразделяются на резкие (со ступенчатым распределением концентрации примесных атомов в объеме кристалла) и плавные (с распределением концентрации примесных атомов, описываемым какой-либо непрерывной функцией). По степени легирования *p*- и *n*- областей *p-n*-перехода последние делятся на симметричные и несимметричные. *Симметричными* называют переходы, образуемые одинаково легированными материалами *p*- и *n*-типов, *несимметричными* – образуемые материалами с проводимостью *p*- и *n*-типов, уровень легирования которых отличается на несколько порядков.

Рассмотрим основные свойства *p-n*-перехода на примере контакта двух равномерно легированных полупроводников. Предположим, что концентрация акцепторных атомов в полупроводнике *p*-типа составляет N_a , а концентрация донорных атомов в полупроводнике *n*-типа – N_d . Вследствие разности концентраций электронов и дырок по обе стороны от контакта полупроводников *p*- и *n*-типов и теплового движения возникает диффузионное перемещение подвижных носителей заряда: электроны движутся из *n*-области в *p*-область, а дырки диффундируют в противоположном направлении. Поскольку движение формируется не электрическими силами, то на такое перемещение носителей заряда кулоновское взаимодействие не оказывает влияния. Уход электронов и дырок из приконтактных *p*- и *n*-областей создает в пространстве их границы раздела объемный заряд, характеризующийся контактным или диффузионным потенциалом. Процессы перемещения носителей заряда прекращаются при условии равенств разности работ выхода электронов из полупроводников *p*- и *n*-типов проводимости и контактным потенциалом. При этом ток, создаваемый электрическим полем, возникающим в области объемного заряда, полностью компенсируется диффузионным током, возникающим под действием градиента концентрации атомов примеси и теплового движения. В процессе диффузии электроны и дырки переносят электрические заряды противоположных знаков. Следовательно, токи, формируемые этими зарядами, имеют противополо-

ложное направление, т.е. общий ток, протекающий через p - n -переход, можно описать равенством:

$$i_D = i_{Dn} - i_{Dp} = e(D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx}), \quad (1)$$

где D_n и D_p – коэффициенты диффузии электронов и дырок соответственно; dn/dx и dp/dx – градиенты концентраций электронов и дырок соответственно, e – заряд электрона.

Плотность дрейфовой составляющей тока, возникающего под воздействием электрического поля области объемного заряда, можно записать в следующем виде:

$$i_E = i_{En} - i_{Ep} = qE(n\mu_n - p\mu_p), \quad (2)$$

где E – напряженность электрического поля в области объемного заряда p - n -перехода; μ_n и μ_p – подвижность электронов и дырок; n - и p -концентрация электронов и дырок соответственно.

В условиях термодинамического равновесия диффузионный ток оказывается полностью скомпенсированным встречным дрейфовым током. Общий ток в этом случае описывается выражением

$$i = i_D - i_E = q(D_n \frac{dn}{dx} - D_p \frac{dp}{dx}) + qE(n\mu_n - p\mu_p) = 0. \quad (3)$$

Из равенства нулю суммарного тока p - n -перехода следует, что такая система контактирующих полупроводников должна характеризоваться одинаковым положением уровней Ферми в p - и n -областях.

На рис. 1 показаны характер распределения концентрации ионов донорной и акцепторной примесей, потенциала, напряженности электрического поля, а также искривление уровней энергетических зон в области контакта для резкого p - n -перехода. Пунктирными линиями очерчена приграничная область $d = X_p + X_n$, внутри которой наблюдается изменение указанных величин. Эта область называется *запирающим слоем*. Вне этого слоя уровни энергетических зон полупроводников p - и n -типов не искажаются, то есть в этих областях электрическая нейтральность полупроводников не нарушается, и напряженность электрического поля равна нулю.

Запирающий слой p - n -перехода оказывается обедненным подвижными носителями заряда, поэтому его удельное сопротивление существенно превышает удельное сопротивление областей, лежащих за преде-

лами этого слоя. В запирающем слое находятся подвижные электроны и дырки, обладающие тепловой энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера.

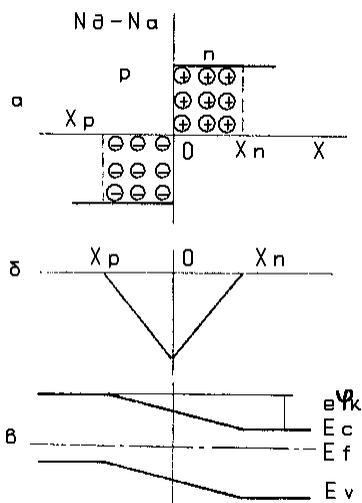


Рис. 1. Распределение объёмного заряда (а), напряженности электрического поля (б) и искривление энергетических зон (в) вблизи границы *p-n*-перехода в условиях термодинамического равновесия

Кроме того в нем протекают процессы генерации и рекомбинации электронно-дырочных пар. Однако концентрация таких носителей заряда мала по сравнению с концентрацией основных носителей за пределами запирающего слоя. При идеальном рассмотрении свойств *p-n*-перехода этими концентрациями можно пренебречь и считать, что объёмные заряды в запирающем слое обусловлены присутствием только ионизированных примесных атомов донорной и акцепторной примесей. Пользуясь таким приближением, определим важнейшие физические величины, характеризующие свойства *p-n*-перехода.

Высота потенциального барьера, определяемая разностью положений уровня Ферми в полупроводниках *p*- и *n*-типов, может быть вычислена из соотношения

$$\varphi_k = E_{Fn} - E_{Fp} \quad , \quad (4)$$

где E_{Fn} и E_{Fp} – положение уровня Ферми в *n-p*-областях соответственно.

Величины E_{Fn} и E_{Fp} можно определить, если прологарифмировать выражения

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_C - E_{Fn}}{kT}\right), \quad (5)$$

$$p = N_V \exp\left(-\frac{E_{Fp} - E_V}{kT}\right), \quad (6)$$

где $N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2}\right)^{3/2}$ – эффективная плотность квантовых состояний в зоне проводимости;

$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2}\right)^{3/2} \text{ – эффективная плотность квантовых состояний в валентной зоне.}$$

Подставив полученные из (5) и (6) выражения для E_{Fn} и E_{Fp} в (4), получим

$$\varphi_k = \Delta E + kT \ln \frac{n_{n0} p_{p0}}{N_C N_V}, \quad (7)$$

где $\Delta E = E_C - E_V$ – ширина запрещенной зоны полупроводника; n_{n0} , p_{p0} – концентрации основных электронов и дырок в n - и p -областях вне запирающего слоя.

С другой стороны, при использовании выражений

$$np = N_C N_V \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right), \quad (8)$$

$$np = n_i^2, \quad (9)$$

где n_i – собственная концентрация электронов, равная собственной концентрации дырок p_i , можно получить

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

Путем несложных преобразований выражения (7) находим

$$\varphi_k = kT \ln \frac{n_{n0} p_{p0}}{n_i^2}. \quad (11)$$

Если учесть, что $n_i^2 = n_{n0} p_{n0} = p_{p0} n_{p0}$, где p_{p0} и n_{p0} – концентрации неосновных дырок и электронов в n - и p -областях вне запирающего

слоя p - n -перехода соответственно, выражение (11) можно переписать в следующем виде:

$$\varphi_k = kT \ln \frac{p_{p0}}{p_{n0}} = kT \ln \frac{n_{n0}}{n_{p0}} \approx \frac{kT}{q} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2}, \quad (12)$$

где N_d , N_a – концентрация атомов примеси донорного и акцепторного типа соответственно.

Максимально возможное значение контактного потенциала для этого случая определяется шириной запрещенной зоны полупроводника.

$$\varphi_{k \max} = \frac{\Delta E}{q}. \quad (13)$$

Температурная зависимость контактного потенциала определяется в основном изменением собственной концентрации подвижных носителей заряда n_i , которая сильно зависит от температуры:

$$n_i = AT^{3/2} \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right), \quad (14)$$

где A – некоторая постоянная величина, определяемая свойствами полупроводника.

Значение потенциала φ_k уменьшается для кремния при повышении температуры, примерно на 2 мВ на каждый градус.

Зависимость постоянного тока I , протекающего через p - n -переход, от приложенного к нему постоянного напряжения, описывается идеализированным теоретическим соотношением

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right], \quad (15)$$

где I_s – ток насыщения.

Этот ток обусловлен дрейфовым перемещением через p - n -переход неосновных носителей заряда:

$$I_s = qS \left(\frac{p_n L_p}{\tau_p} + \frac{n_p L_n}{\tau_n} \right) = qsn_i^2 \left(\frac{L_p}{\tau_p N_a} + \frac{L_n}{\tau_n N_d} \right), \quad (16)$$

где S – площадь p - n -перехода; L_p , τ_p – диффузионная длина и время жизни инжектируемых дырок в n -области; L_n , τ_n – диффузионная длина и время жизни инжектируемых электронов в p -области.

Вольт-амперная характеристика диода, определяемая выражением (15), представлена кривой 1 на рис. 2.

В большинстве случаев в ИМС используют p - n -переходы, у которых концентрация примесных атомов в одной из областей значительно больше, чем в другой (несимметричные p - n -переходы). Если, например, $N_d \gg N_a$, то в соотношении (16) существенным окажется только первое слагаемое выражения, заключенного в скобки, и тогда

$$I_s \approx qsn_i^2 \frac{L_p}{\tau_p N_a}. \quad (17)$$

Ток насыщения пропорционален квадрату собственной концентрации носителей заряда, поэтому он должен проявлять, согласно выражению (14), сильную зависимость от температуры: так, например, в кремниевых p - n -переходах он удваивается при повышении температуры на каждые 5°C .

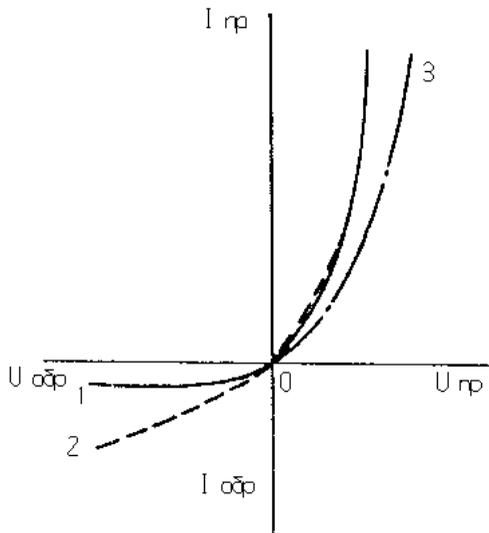


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики полупроводниковых диодов:
 1 – вычисленная по формуле (15); 2 – вычисленная с учётом процессов рекомбинации – генерации носителей заряда в области объемного заряда;
 3 – отклонение прямой ветви за счет падения напряжения в объеме полупроводника

При прямом напряжении смещения ($U > 0$), превышающем несколько kT/q , выполняется условие $\exp(qU/kT) \gg 1$, и уравнение (15) принимает вид

$$I_{\text{пр}} \approx I_s \exp\left(\frac{qU}{kT}\right). \quad (18)$$

При обратном смещении p - n -перехода ($U < 0$), также превышающем несколько kT/q , в выражении (15) экспоненциальным членом можно пренебречь. В этом случае соотношение (15) преобразуется в равенство

$$I \approx I_s = \text{const}.$$

У реальных полупроводниковых диодов часто наблюдается отклонение от зависимости (15). В материалах с широкой запрещенной зоной, и в частности в кремнии, концентрация неосновных носителей заряда невелика. Поэтому основное влияние на величину I_s оказывают носители, генерируемые в области объемного заряда в виде электронно-дырочных пар. При этом в обратном токе появляется составляющая, пропорциональная ширине области объемного заряда и зависящая от напряжения обратного смещения. В этом случае на начальном участке ВАХ (кривая 2 на рис. 2) оказывается больше, чем это следует из соотношения (15). В отличие от I_s генерационный ток пропорционален n_i в первой степени:

$$I_{\text{ген}} \approx qsn_i d / \tau, \quad (19)$$

где d – ширина области объемного заряда p - n -перехода; τ – время жизни электронно-дырочной пары.

Поэтому $I_{\text{ген}}$ с повышением температуры возрастает медленнее, чем I_s (в кремниевых p - n -переходах удваивается при повышении температуры на каждые 10°C).

Дополнительные составляющие $I_{\text{обр}}$ возникают под влиянием различных объемных и поверхностных дефектов. Эти составляющие обычно называют *током утечки*, причем считают, что он линейно зависит от $U_{\text{обр}}$. При повышении температуры быстрее других составляющих возрастает ток I_s , который, в конечном счете, становится преобладающим над всеми остальными составляющими обратного тока.

Падение напряжения в объеме полупроводника вне области объемного заряда p - n – перехода (запиравшего слоя) при больших прямых токах уменьшает крутизну прямой ветви ВАХ (кривая 3 на рис. 2). Замедление нарастания тока с увеличением U_{np} обусловлено также эффектами высокого уровня инжекции, т.е. большой плотности прямого тока. При достаточно большом I_{np} концентрация инжектируемых в более высокоомную область полупроводника носителей заряда может оказаться соизмеримой с концентрацией основных носителей в ней и даже существенно превысить ее. Это и приводит к появлению в полупроводнике электрического поля, изменяющего закономерности перемещения свободных носителей заряда.

Частотные свойства диода

Всякий p - n -переход шунтируется емкостью C_n , являющейся суммой емкостей:

$$C_n = C_{\text{бар}} + C_{\text{диф}}, \quad (20)$$

где $C_{\text{бар}}$ – барьерная емкость, обусловленная наличием в области объемного заряда p - n -перехода ионизированных примесных атомов, заряд которых не скомпенсирован основными носителями; $C_{\text{диф}}$ – диффузионная емкость, связанная с инерционностью установления распределения концентраций неравновесных носителей заряда внутри p - и n -областей структуры.

Изменение суммарного заряда ионов в области объемного заряда возможно только за счет изменения ширины этой области под действием напряжения, приложенного к p - n -переходу. Этот процесс является практически безынерционным, поэтому барьерная емкость p - n -перехода не зависит от частоты во всем диапазоне используемых частот. Дифференциальное значение емкости, характеризующее емкостную реакцию на переменное напряжение U , малое по сравнению с постоянным напряжением на p - n -переходе, равно:

$$C_{\text{бар}} = \frac{dq}{dU} = \frac{k\varepsilon\varepsilon_0}{(\varphi_k - U_0)^n}, \quad (21)$$

где k – постоянная величина, пропорциональная площади p - n -перехода; n – показатель степени, определяемый характером распределения кон-

центраций примесных атомов вблизи p - n -перехода; U_0 – напряжение обратного смещения p - n -перехода.

Барьерная емкость уменьшается с увеличением напряжения обратного смещения. Если $U_0 < 0$, то всю емкость p - n -перехода можно считать равной его барьерной емкости.

При протекании через p - n -переход прямого тока проявляется $C_{диф}$, которая по мере увеличения тока может превысить величину $C_{бар}$.

Носители заряда, инжектируемые p - n -переходом, распространяются в p - и n -областях, подчиняясь законам диффузии. Вследствие рекомбинации концентрация этих носителей по мере диффузии вглубь областей полупроводниковой структуры убывает, причем глубина проникновения имеет порядок диффузионной длины L . Этот процесс приводит к накоплению неравновесных носителей заряда вблизи p - n -перехода. Причем заряд этих носителей пропорционален току через p - n -переход, однако из-за сравнительно медленного характера диффузии и рекомбинации неравновесных носителей заряда он не может мгновенно изменяться с изменением тока. Инерционность зарядов описывается временем жизни инжектируемых электронов и дырок и обуславливает емкостной характер реакции p - n -перехода на всякое изменение прямого тока. Это явление описывается эквивалентной диффузионной емкостью p - n -перехода, которая при достаточной протяженности p - и n -областей полупроводниковой структуры, превышающей диффузионную длину, на низких частотах описывается выражением

$$C_{диф} = \frac{q^2}{kT} [n_p L_n + p_n L_p] \exp\left(\frac{qU}{kT}\right), \quad (22)$$

где n_p , p_n – концентрации неосновных равновесных электронов и дырок в p - и n -областях p - n -перехода; L_n , L_p – диффузионные длины электронов и дырок в тех же областях.

При повышении частоты значение $C_{диф}$ уменьшается и стремится к нулю на частотах, период которых значительно меньше времени жизни неосновных носителей заряда τ_n и τ_p . Накопление неравновесных носителей заряда при прохождении прямого тока и конечное время их рассасывания после выключения прямого тока оказывают сильнейшее влияние на свойства импульсных диодов в схемах переключения.

При изменении полярности напряжения на диоде с прямой на обратную в первый момент возникает большой обратный ток (рис. 3, *a*) и лишь через некоторое время $t_{\text{вост}}$, равное времени жизни носителей заряда, его значение снижается до нормального, соответствующего приложенному обратному напряжению.

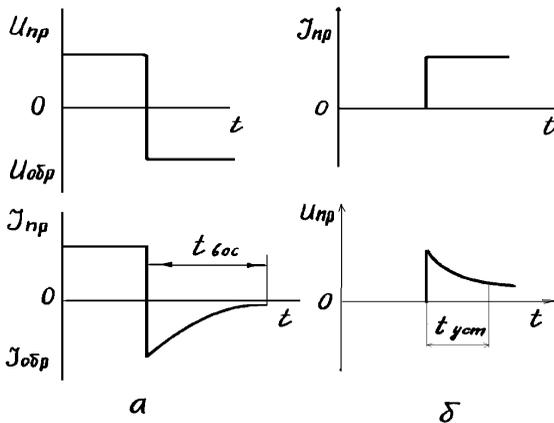


Рис. 3. Характеристики процессов установления обратного тока (*a*) и падения прямого напряжения (*б*) диода, обусловленные эффектом накопления неосновных носителей заряда в объеме полупроводника

Если длительность импульса обратного напряжения будет значительно меньше $t_{\text{вос}}$, то диод будет выполнять функции выпрямителя. И наоборот, при резком включении достаточно большого прямого тока (рис. 3, *б*) в первый момент прямое сопротивление оказывается больше, чем в статическом состоянии, и только спустя время $t_{\text{уст}}$, в течение которого происходит накопление неосновных носителей заряда в объеме полупроводника, сопротивление и падение прямого напряжения уменьшаются до значений, измеряемых на постоянном токе. При коротком импульсе прямого тока этот процесс может не завершиться, и тогда прямое сопротивление диода будет повышенным.

Важным параметром, характеризующим работу диода на переменном токе, является дифференциальное сопротивление, определяемое из выражения

$$r_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI} \quad (23)$$

и представляющее собой изменение тока, протекающего через диод, при изменении напряжения вблизи некоторого значения U , заданного рабочей точкой. Для идеального диода величину $r_{\text{диф}}$ определяют путем дифференцирования уравнения ВАХ (15):

$$r_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI} = \frac{kT}{q(I + I_s)}. \quad (24)$$

Дифференциальное сопротивление зависит как от тока, так и от приложенного к диоду напряжения. При обратном смещении диода $r_{\text{диф}}$ велико и изменяется в пределах от нескольких десятков килоом до сотен мегаом. В случае прямого смещения $r_{\text{диф}}$ составляет обычно десятки Ом, т.к. определяется большим током, протекавшим в прямом направлении.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для снятия вольт-амперной характеристики p - n -перехода на постоянном токе и измерения величины барьерной емкости интегральные диоды включают в схему (рис. 4).

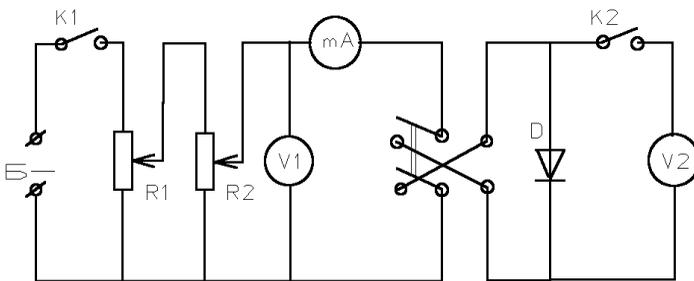


Рис. 4. Принципиальная схема для снятия вольт-амперных характеристик выпрямительных диодов: B – источник постоянного тока (~ 50 В); R_1, R_2 – реостаты (100, 200 Ом); V_1, V_2 – вольтметры; μA – миллиамперметр; D – исследуемый диод; Π – переключатель полярности; k_1, k_2 – ключи

Принципиальная схема установки содержит два источника постоянного напряжения U_1 и U_2 , подключаемых к схеме с помощью переключателя П1. Низковольтный источник напряжения U_1 предназначен для снятия прямой ветви и начального участка обратной ветви ВАХ. Высоковольтный источник напряжения U_2 позволяет снять всю обратную ветвь ВАХ диода, включая и предпробойную область ВАХ.

При снятии ВАХ p - n -перехода в прямом направлении, напряжение на интегральном диоде определяется вольтметром, включенным параллельно исследуемому диоду (положение V_2). Это обусловлено тем, что в этом случае выполняется условие $R_v \gg R_g$, где R_v , R_g – внутреннее сопротивление вольтметра и диода, т.е. измерительный ток практически весь протекает через диод, и, следовательно, показания миллиамперметра являются достоверными. Кроме того, при таком включении вольтметра в схему из результатов измерения исключается падение напряжения на миллиамперметре, величина которого соизмерима с падением напряжения на исследуемом образце.

При снятии обратной ветви ВАХ, напряжение на интегральном диоде измеряется вольтметром, подключенным к схеме в положении V_1 . Сопротивление p - n -перехода при этом очень велико, и падением напряжения на миллиамперметре можно пренебречь. Если вольтметр оставить подключенным к схеме в положении V_2 , то часть измерительного тока будет протекать через вольтметр, так как $R_v \approx R_g$. Это приведет к искажению результатов измерения на некоторую постоянную величину, равную падению напряжения на вольтметре. Одновременно с изменением характера смещения предусмотрено переключение полярности миллиамперметра переключателем П1. Измерение барьерной емкости производят с помощью Q-метра. Контур Q-метра без диода настраивают в резонанс, посредством изменения емкости контура. Записав в таблицу значение этой емкости по показанию лимба (C_1), подключают исследуемый прибор. Восстановление резонанса Q-метра осуществляют уменьшением его емкости на величину измеряемой емкости $C_{бар}$. Если второй отсчет емкости по шкале Q-метра обозначить C_2 , то величину барьерной емкости p - n -перехода можно определить из соотношения

$$C_{бар} = C_1 - C_2. \quad (25)$$

Для уменьшения шунтирующего действия сопротивление R_4 выбрано большим. Измерение $C_{бар}$ производят при обратном смещении.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с правилами работы приборов экспериментальной установки.
2. Собрать лабораторный стенд согласно блок-схеме (рис. 5).

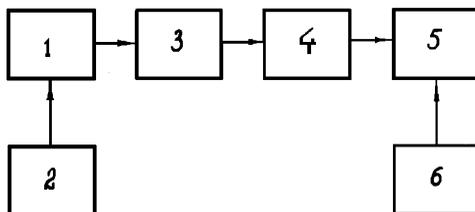


Рис. 5. Блок-схема измерительного стенда:

- 1 – источник регулируемого напряжения; 2 – вольтметр V_1 ;
3 – измеритель тока (миллиамперметр в прямом направлении и микроамперметр в обратном); 4 – переключатель полярности напряжения на исследуемом диоде;
5 – исследуемый диод D ; 6 – вольтметр V_2

3. Включить электропитание лабораторного стенда и прогреть приборы в течение 5-15 мин.
4. Снять вольт-амперную характеристику интегральных диодов и определить величину контактной разности потенциалов.
5. Определить величины $C_{бар}$ и $C_{бар\ max}$ если $n = 10 \dots 10\ cм^3$.
6. Снять зависимость $C_{бар}$ от величины обратного смещения.
7. Путем подбора коэффициента неидеальности η построить теоретическую ВАХ, максимально приближенную к экспериментальной.
8. Используя данные п. 7 определить $r_{диф}$.
9. Найти $r_{диф}$, используя выражение (24), и сравнить результат с предыдущим.
10. Выполнить пп. 5-9 для пяти вариантов диодного включения биполярных транзисторов.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет выполняется на листах формата А4 и начинается с титульного листа. Отчет содержит:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Перечень приборов, используемых в эксперименте.
4. Блок-схему лабораторного стенда.
5. Результаты экспериментальных данных в форме графиков и таблиц.
6. Выводы с кратким изложением физических основ полупроводникового диода.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация p - n -переходов.
2. Физические свойства p - n -переходов.
3. Показать механизм формирования диффузионной емкости.
4. Уравнения вольтамперной характеристики p - n -перехода.
5. Барьерная емкость и ее отличия от диффузионной емкости.
6. Написать уравнения для тока и напряжения в прямом направлении.
7. Определение дифференциального сопротивления p - n -перехода.
8. Интегральные диоды (пять вариантов включения).
9. Отличительные варианты включения биполярного транзистора в диодном режиме.
10. Чем определяются частотные свойства p - n -перехода?
11. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока p - n -перехода.
12. Принцип работы экспериментальной установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Ефимов, И.В. Микроэлектроника / И.В. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. – М.: Высш. шк., 1987. – С. 71-81.

Ефимов, И.В. Микроэлектроника / И.В. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. – М.: Высш. шк., 1986. – С. 74-94

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА**

Методические указания к лабораторной работе

Составители:

***Анатолий Иванович Колпаков,
Всеволод Анатольевич Колпаков,
Сергей Васильевич Кричевский***

Редактор И.И. Спиридонова.
Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 11.09.2016. Формат 60 x 84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,25.
Тираж 200 экз. Заказ . Арт. – 55 /2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЕВА (САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

