

Лабораторная работа №316

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Приборы и принадлежности: лабораторная панель «Полупроводниковый диод», источник питания постоянного тока GPS-3030DD, вольтметр универсальный В7-78/1, осциллограф GDS-2062.

Введение. Кристаллическим (полупроводниковым) диодом называется устройство, содержащее один *p-n*-переход.

Электронно-дырочный переход (сокращенно *p-n*-переход) представляет собой тонкий слой на границе между областями одного и того же кристалла, отличающимися типом *примесной* проводимости. Для создания такого перехода берут, например, монокристалл германия (элемент IV группы периодической системы) с *электронным* механизмом проводимости, обусловленной наличием соответствующей (*донорной*) примеси, и вплавляют с одной стороны “кусочек” индия (элемент III группы). Во время термической обработки в вакууме атомы индия диффундируют в германий на некоторую глубину. В этой области проводимость германия становится *дырочной* за счет атомов *акцепторной* примеси. На рис. 1 показан ход концентрации примесей в направлении, перпендикулярном к граничному слою.

Рассмотрим явления на границе раздела двух полупроводников с различными типами проводимости. Благодаря тому что в *n*-полупроводнике содержится некоторое количество свободных электронов, они начнут диффундировать в *p*-область и рекомбинировать с дырками. В результате возникает слой толщиной ℓ в области *p-n*-перехода, лишенный подвижных носителей заряда (рис.2). Образовавшийся слой называется *запирающим*. Толщина его в практически важных полупроводниках имеет величину $10^{-4} - 10^{-5}$ см.

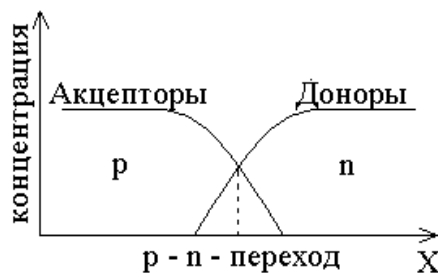


Рис. 1

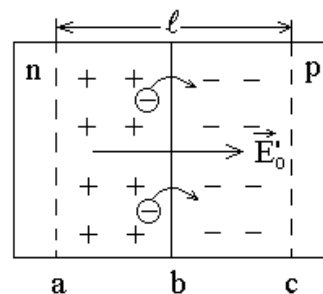


Рис. 2

Так как электроны из *n*-полупроводника переходят в *p*-полупроводник, в области *ab* возникает избыточный положительный заряд,

связанный с присутствием донорной примеси, в области bc – избыточный отрицательный заряд, обусловленный присутствием атомов акцепторной примеси. Таким образом, возникает двойной электрический слой, создающий внутреннее контактное электрическое поле с напряженностью E' . Это поле препятствует дальнейшему переходу основных носителей заряда через место контакта и при некотором значении E_0 наступает состояние равновесия. Контактная разность потенциалов составляет несколько десятых долей вольта. Такой потенциальный барьер могут преодолеть только электроны и дырки, обладающие большой кинетической энергией, соответствующей температуре в несколько тысяч градусов. Поэтому при нормальной температуре слой ℓ является для них непроницаемым – имеющим очень большое электрическое сопротивление.

Сопротивление запирающего слоя можно изменить с помощью внешнего электрического поля. В самом деле, присоединим к электронному полупроводнику положительный, а к дырочному – отрицательный полюсы источника тока (рис.3,а). Тогда напряженность внешнего поля E , совпадающая по направлению с напряженностью E' , еще дальше отодвинет свободные электроны и дырки от места контакта полупроводников. При этом запирающий слой расширится и его сопротивление возрастет, а ток через контакт не пойдет. Если говорить точнее, пойдет очень слабый ток, обусловленный собственной проводимостью полупроводников, так как внешнее поле способствует переходу через запирающий слой не основных носителей тока: свободных электронов из дырочного полупроводника в электронный и дырок из электронного полупроводника в дырочный. Но концентрации свободных электронов в дырочном полупроводнике и дырок в электронном полупроводнике весьма малы. Поэтому в данном случае ток будет пренебрежимо мал. Направление $n \rightarrow p$, практически не пропускающее тока, называется запирающим (*обратным*) направлением.

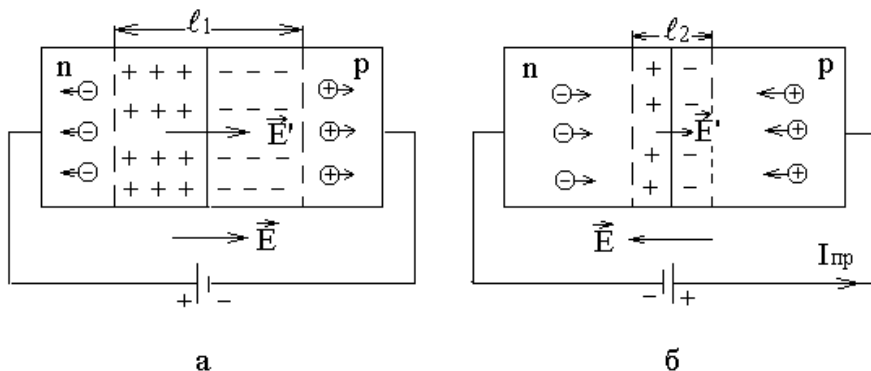


Рис. 3

Изменим теперь полярность приложенного напряжения (рис. 3,б). Тогда напряженность внешнего поля E , направленная противоположно напряженности E' , будет перемещать свободные электроны и дырки навстречу друг другу. Запирающий слой сузится и его сопротивление уменьшится. При

определенном значении приложенного внешнего напряжения сопротивление запирающего слоя станет равным сопротивлению самих полупроводников (запирающий слой исчезнет). Через полупроводники пойдет сильный ток. Направление $p \rightarrow n$, пропускающее ток, называется пропускным (*прямым*) направлением.

Таким образом, запирающий слой обладает односторонней (вентильной) проводимостью, что позволяет использовать его для выпрямления переменного тока, подобно вакуумному диоду.

Целью данной работы является изучение вентильных свойств $p-n$ -перехода на примере кристаллического диода.

Упражнение 1

Снятие вольт-амперной характеристики диода

Измерения. Вольт-амперная характеристика (*ВАХ*) представляет собой график зависимости тока, протекающего через диод, от прикладываемого напряжения. Процесс снятия вольт-амперной характеристики полупроводникового диода разделен на две части в зависимости от полярности подаваемого на диод напряжения: 1) измерение в прямом направлении, 2) измерение в обратном направлении.

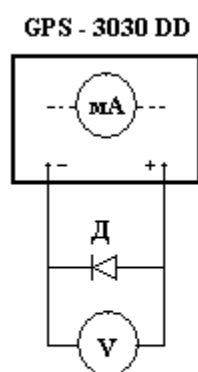


Рис. 4а

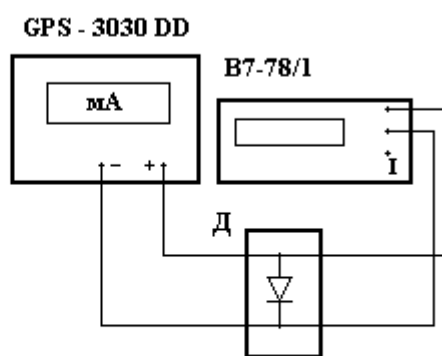


Рис. 4 б

Для измерений *в прямом* направлении применяется принципиальная электрическая схема, изображенная на рис.4,а. Несмотря на то, что миллиамперметр показывает суммарный ток диода и вольтметра, последним можно пренебречь ввиду его малости (сопротивление вольтметра на много порядков больше сопротивления диода в прямом направлении).

1.Соберите электрическую цепь по блок-схеме на рис. 4,б. Миллиамперметр как измерительный прибор из нее исключен, так как

величина тока в цепи диода *задается* стабилизированным источником питания. Универсальный вольтметр В7-78/1 показывает значение напряжения.

2. Установите ручки источника питания в начальное положение.

«CURRENT FINE» - в крайнее левое положение

«CURRENT COARSE» - крайнее левое положение

«VOLTAGE FINE» - крайнее правое положение

«VOLTAGE COARSE» - крайнее левое положение

Кнопку «AMPS» - отжать.

3. Включить вольтметр В7 – 78/1.

4. Включите источник питания (кнопка «POWER ON/OFF»). Изменяя силу тока от 0,01 А до 0,09 А через 0,01 А (ручки «CURRENT COARSE», «CURRENT FINE») снимите показания на вольтметре и запишите в таблицу.

5. Закончив данную серию измерений, выключите все приборы.

Для того чтобы снять зависимость тока диода от *обратного* напряжения, используется принципиальная электрическая схема, представленная на рис.5,а.

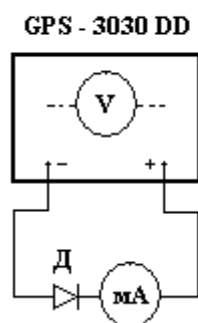


Рис. 5а

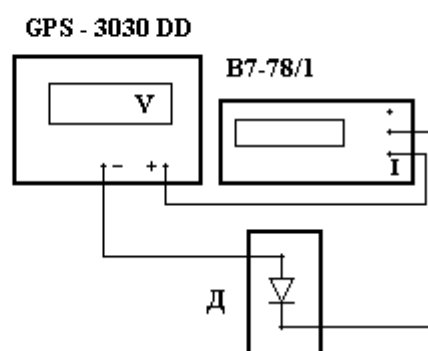


Рис. 5б

1. Соберите электрическую цепь по блок - схеме, изображенной на рис. 5,б. Здесь универсальный измерительный прибор В7-78/1 работает в режиме микроамперметра постоянного тока, величина напряжения на диоде задается источником питания GPS-3030DD.

2. Установите начальное положение источника питания:

«CURRENT FINE» - в крайнее правое положение

«CURRENT COARSE» - крайнее левое положение

«VOLTAGE FINE» - крайнее левое положение

«VOLTAGE COARSE» - крайнее левое положение

3. Включите источник питания ИП и установите напряжение **0,5В** (ручки «VOLTAGE COARSE», «VOLTAGE FINE»)

4. Включите прибор В7-78/1. Нажмите кнопку «ПРЕФ» и «I=» для измерения силы постоянного тока.

5. Изменяя напряжение на выходе ИП от 0,5В до 8,5В через 0,5В, записывайте показания приборов в таблицу, измеряя ток на универсальном вольтметре.

6. Выключите все приборы.

Таблица:

<i>Прямой ток $I_{пр}$, мА</i>	<i>Прямое напряжение $U_{пр}$, В</i>	<i>Обратное напряжение $U_{обр}$, В</i>	<i>Обратный ток $I_{обр}$, мкА</i>

Обработка результатов. По данным таблицы постройте график зависимости тока диода от приложенного напряжения в одной системе координат (допускается применение разных масштабов для прямого и обратного тока в силу большой разницы между ними). Полученный график и есть вольт-амперная характеристика данного типа диода, построенная по экспериментальным точкам.

Упражнение 2

Наблюдение вольт-амперной характеристики диода и его выпрямляющего действия на осциллографе

Как было сказано выше, полупроводниковые диоды позволяют применять их в качестве выпрямителей переменного тока и создавать на их базе источники постоянного тока. В данном упражнении предлагается пронаблюдать результат выпрямляющего действия диода на экране осциллографа.

Для этой цели на лабораторной панели имеется генератор переменного напряжения небольшой мощности $\Gamma\sim$, который начинает действовать при соединении его с ИП.

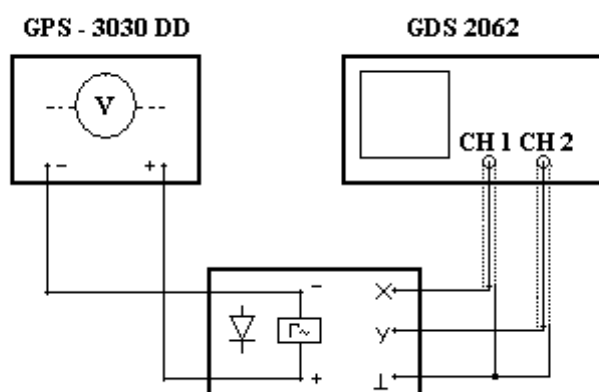


Рис.6

1. Соберите электрическую цепь по схеме, представленной на рис.6, подключите коаксиальные провода каналов CH1, CH2.
2. Включите источник питания и установите на нем напряжение 8,5В.
3. Включите осциллограф нажатием кнопки ON/STBY.
4. Для наблюдения временных развёрток нажать кнопку Auto Set.
Канал осциллографа CH1 позволяет наблюдать зависимость $u=f(t)$, а канал CH2 - зависимость $i=f(t)$.
5. Для наблюдения вольт-амперной характеристики (ВАХ) необходимо нажать кнопку HORI MENU и а меню экрана осциллографа нажать кнопку F 5.
6. Для установки ВАХ в начало координат применяем ручки POSITION.
7. Срисуйте вид наблюдаемого сигнала, начертите координатные оси. Или перенесите график на электронный носитель (по усмотрению преподавателя).
8. Отключите электронный осциллограф нажатием кнопки ON/STBY.
9. Сравните полученную ВАХ с той, которую Вы построили по “точкам”.

Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводники *n*- и *p*-типа?
2. Что такое *p-n*-переход и каковы его свойства? Что такое запирающий слой? С чем связано такое название?
3. Как устроен полупроводниковый диод? Что означает прямое и обратное направление включения диода?
4. Что общего между кристаллическим и вакуумным диодами и в чем различие?
5. Какие преимущества у кристаллического диода перед вакуумным и наоборот?
6. Почему при включении полупроводникового диода в обратном направлении ток через него не равен нулю? Существует ли обратный ток в вакуумном диоде?
7. Как получить ВАХ диода на экране осциллографа? В чем сходство и в чем отличие ВАХ, полученной на экране, с характеристикой, построенной «по точкам»?
8. Как получают постоянный ток из переменного с помощью полупроводниковых диодов?

Список рекомендуемой литературы

1. Калашников С. Г. Электричество. М.: Наука, 1977. С. 325—335.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. М.: Наука, 1998. Кн. 5. С. 242–250.
3. Физический практикум. Электричество и оптика. /Под ред. В.И.Ивероной. М.: Наука, 1968. С. 206.
4. Перкальскис Б.Ш. Использование современных научных средств в физических демонстрациях. М.: Наука, 1971. С. 56-59.