

Тема 14

Собственная и примесная проводимость полупроводников, ее зависимость от температуры и освещенности. Полупроводниковые диоды и транзисторы

ОГЛАВЛЕНИЕ

- 14.1. Собственная и примесная проводимость полупроводников, ее зависимость от температуры и освещенности
- 14.2. Полупроводниковые диоды и транзисторы

14.1. Собственная и примесная проводимость полупроводников, ее зависимость от температуры и освещенности

Полупроводники – твердые тела, занимающие место между проводниками и диэлектриками. К полупроводникам относятся либо чистые химические элементы третьей, четвертой, пятой групп таблицы Менделеева, либо их соединения.

Особенность полупроводников состоит в том, что в них имеется два рода носителей электрического заряда: электроны и дырки.

Если полупроводник образован одним элементом, то в нем существует только один из указанных выше носителей зарядов и один вид проводимости.

В качестве примера, рассмотрим элемент IV группы таблицы Менделеева: германий – Ge.

Германий имеет кристаллическую решетку, в узлах которой находятся атомы германия, у которых четыре валентных электрона свои, а четыре являются общими, т.е. принадлежат соседним атомам. Таким образом внешний слой получается полностью заполненным (ковалентная связь).

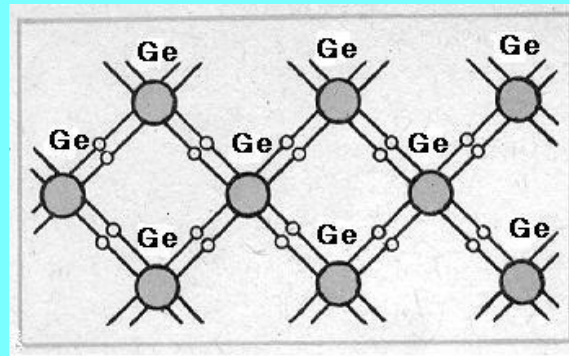


Рис.14.1.

За счет внешних воздействий кристаллическая решетка не является идеальной, т.е. в ней существуют дефекты. При наличии дефектов часть электронов оказывается свободными и под действием внешнего электрического поля может начать перемещаться. Так возникает электронная проводимость.

По той же причине ряд химических связей оказываются незаполненными, в кристаллической решетке появляются дырки. Туда, где имеется незаполненная химическая связь, может попасть электрон, но то место, где он был ранее, освободится, т.е. электрон и дырка поменяются местами. Поэтому можно сказать, что в полупроводнике под воздействием электрического поля возникает не только ток электронов, но и ток квазичастиц – “дырок”. “Дырка” — такая квазичастица (“квази” – как бы) заряд которой по модулю равен заряду электрона, а масса равна массе электрона.

Рассмотрим этот процесс с помощью энергетической диаграммы. Если электрон перейдет из валентной зоны в зону проводимости под действием электрического поля, то в валентной зоне возникает дырка, и соответственно наоборот.

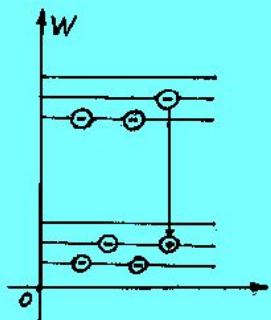


Рис.14.2

Увеличить число носителей заряда в полупроводнике можно с помощью привнесения в него определенных примесей. При этом возможны два случая:

1. Пусть один из атомов германия в кристаллической решетке замещен атомом элемента пятой группы таблицы Менделеева, например, мышьяком As. При этом появится один лишний электрон (пятый). Если атом мышьяка не один, то появятся свободные электроны, возникает примесная проводимость n-типа (от англ. negative – отрицательный).

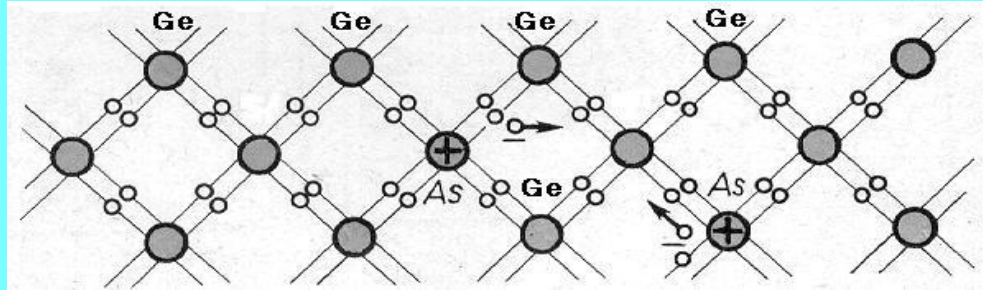


Рис.14.3.

2. Пусть один из атомов германия замещен в кристаллической решетке на один из элементов третьей группы таблицы Менделеева, например, индием In. Тогда одна связь остается незаполненной, возникает примесная проводимость p-типа (от англ. positive – положительный).

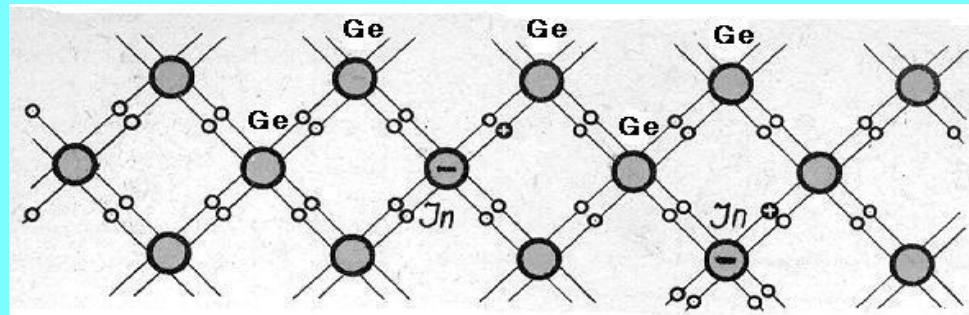


Рис.14.4.

Опыт 14.1 Действие полупроводникового фотоэлемента

Оборудование:

1. Полупроводниковый элемент на подставке;
2. Соединительные провода;
3. Демонстрационный светильник;
4. Гальванометр;

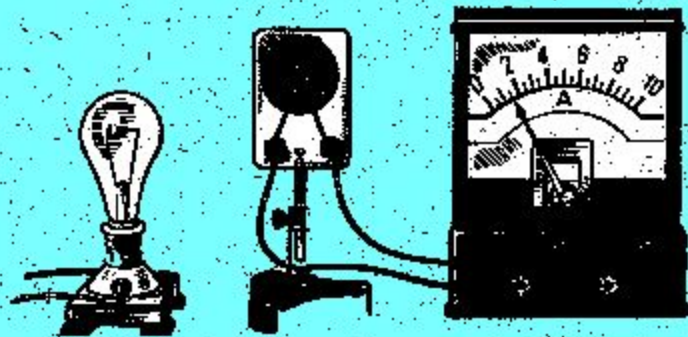


Рис.14.5.

Селеновый фотоэлемент представляет собой железную пластинку, покрытую тонким слоем селена, обладающего дырочной проводимостью. На поверхность селена нанесен тонкий полупрозрачный слой золота. В результате специальной обработки часть атомов золота проникла в селен и образовала в нем тонкий слой с электронной проводимостью. На границе двух слоев с различным типом проводимости образовался электронно-дырочный переход.

1. Собирают установку (рис. 14.5). и при дневном освещении обнаруживают по гальванометру появление слабого тока в цепи.

2. Затем фотоэлемент освещают электрической лампой. Наблюдают, как по мере приближения лампы к фотоэлементу ток в цепи увеличивается и стрелка гальванометра отклоняется на всю шкалу.

3. При затемнении фотоэлемента ток почти прекращается. Таким образом убеждаются, что полупроводниковый фотоэлемент представляет собой источник тока, в котором энергия света преобразуется непосредственно в электрическую.

Опыт 14.2 Электронно-дырочные проводимости полупроводников

Оборудование:

1. Термоэлемент на подставке;
2. Нагреватель (спиртовка);
3. Соединительные провода;
4. Гальванометр демонстрационный;

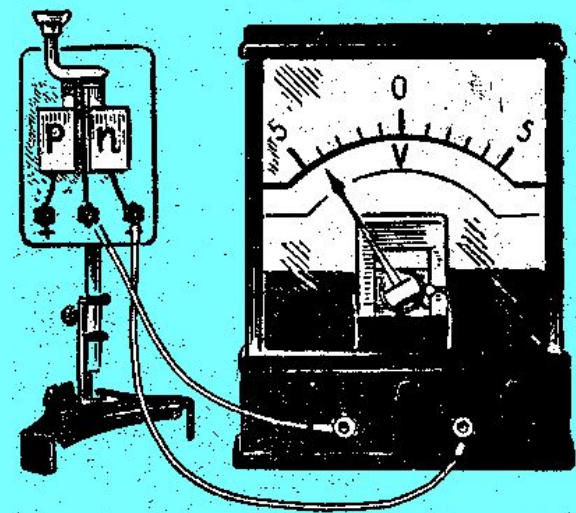


Рис. 14.6.

Для демонстрации двух видов проводимости примесных полупроводников берут полупроводниковый термоэлемент. Вид проводимости определяют по направлению термотока в цепи. Опыт начинают с демонстрации электронной проводимости.

1. Собирают установку по рисунку 14.6.
2. Индикатором термотока служит демонстрационный гальванометр с малым внутренним сопротивлением (от вольтметра) и шкалой “5-0-5”. Его стрелку предварительно устанавливают на нуль шкалы с помощью механического корректора, а сам прибор подключают к термоэлементу так: зажим гальванометра со знаком “+” соединяют с нижним холодным концом полупроводника, обладающего электронной проводимостью (с правым зажимом термоэлемента), а второй зажим гальванометра – с верхним концом полупроводника (средним зажимом термоэлемента).

3. Пока температура обоих концов полупроводника одинакова, тока в цепи нет.

4. Затем верхний конец полупроводника (к нему припаяна медная пластинка) осторожно нагревают, например, слегка разогретым паяльником. Стрелка гальванометра отклоняется влево. По направлению тока легко определить полярность концов включенного полупроводника. Проверка показывает, что ток в цепи идет от горячего конца полупроводника к холодному. Следовательно, горячий конец полупроводника зарядился положительно, а холодный – отрицательно.

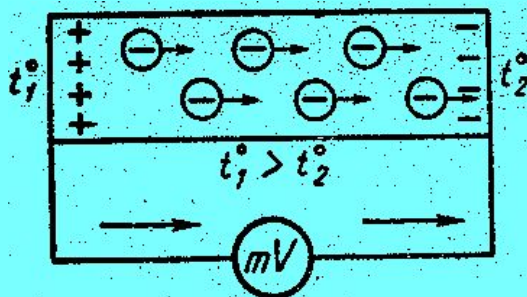


Рис. 14.7.

По рисунку 14.7 видно, что такое явление возможно в том случае, если основными носителями заряда в полупроводнике являются электроны. Действительно, при нагревании полупроводника за счет атомов примеси увеличивается число и скорость свободных электронов. Эти электроны по законам диффузии начинают перемещаться в полупроводнике в сторону холодного конца и заряжают его отрицательно. Горячий конец при этом заряжается положительно. Разделение зарядов приводит к образованию электрического поля, под действием которого и создается термоток в цепи.

Для демонстрации дырочной проводимости гальванометр подключают к концам второго полупроводника термоэлемента, причем нагретый конец полупроводника (средний зажим) соединяют с тем же зажимом гальванометра, что и в первом случае (рис. 14.8). Теперь стрелка гальванометра отклоняется в правую сторону, несмотря на одинаковое включение гальванометра.

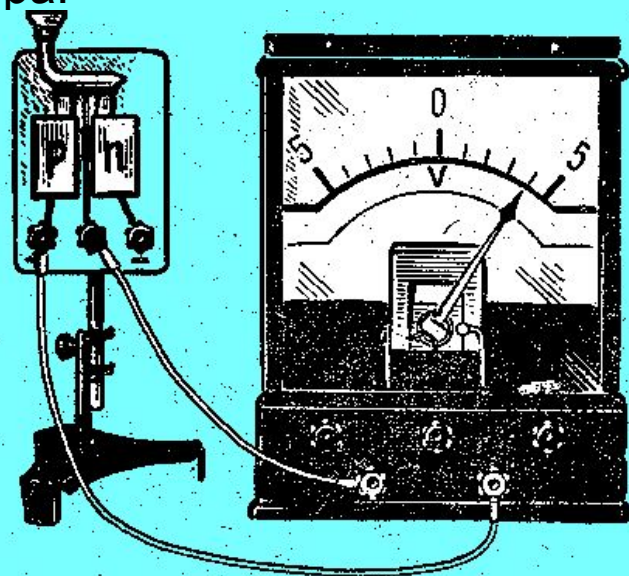


Рис. 14.8.

Обратное направление тока в цепи указывает на обратную полярность концов полупроводника: горячий конец зарядился отрицательно, а холодный – положительно. Значит, во втором полупроводнике изменился знак носителей заряда. Теперь носителями заряда являются дырки, которые ведут себя как положительные заряды.

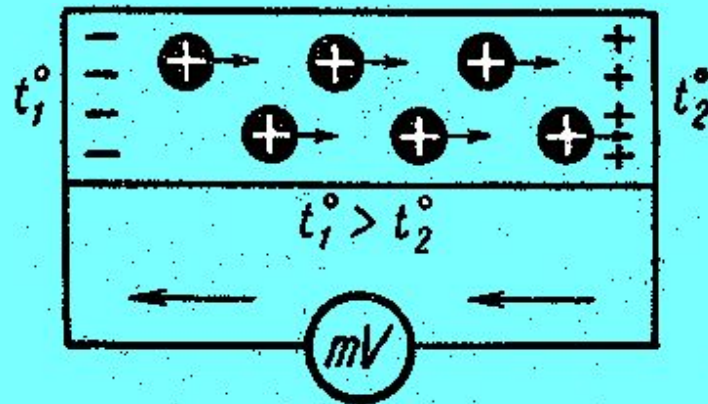


Рис. 14.9.

На горячем конце полупроводника возникают дополнительные свободные электроны (рис. 14.9). Но теперь освободившиеся электроны захватываются атомами примеси и вновь теряют возможность перемещаться и участвовать в проводимости. В то же время в основных атомах полупроводника, из которых эти электроны вырвались, остаются свободные места – дырки. Таких дырок образуется больше в нагретом конце полупроводника. Из соседних атомов на место образовавшихся дырок переходят валентные электроны. Дырки в первых атомах заполняются электронами, но зато они появляются в других атомах. В результате таких своеобразных переходов электронов дырки перемещаются от горячего конца к холодному и заряжают его положительно; горячий же конец полупроводника заряжается отрицательно.

14.2. Полупроводниковые диоды и транзисторы

Основным элементом большинства полупроводниковых элементов является р-п переход.

р-п переходом называется область на границе полупроводников р и п типов.

Условно р-п переход можно показать следующим образом:

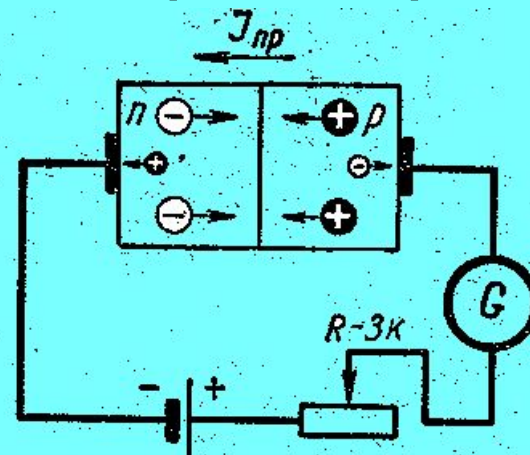


Рис. 14.10.

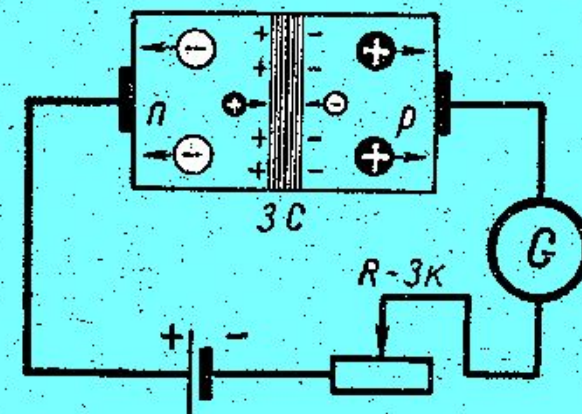


Рис. 14.11.

1. Знак проводимости соответствует знаку источника, тогда дырки переместятся влево, электроны вправо. Через р-п переход пойдет электрический ток, состоящий из электронов и дырок.

2. Знак проводимости противоположен знаку источника, тогда носители заряда движутся к полюсам, не переходя границу контакта полупроводников, ток через р-п переход не возникает, следовательно, р-п переход обладает односторонней проводимостью.

р-п переход используется в полупроводниковых диодах.

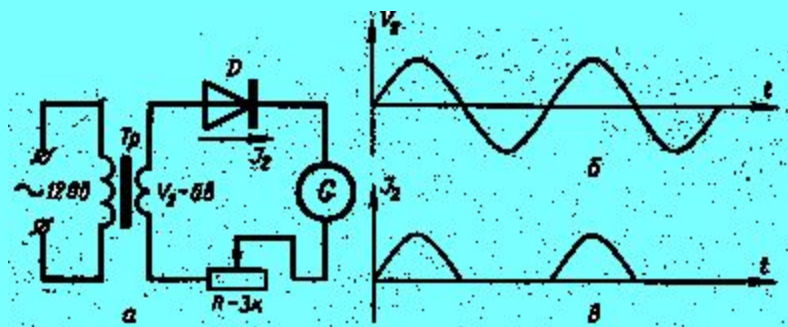


Рис. 14.12.

Транзистор – полупроводниковый прибор, который состоит из двух р-п переходов, включенных встречно. Эмиттер – область транзистора, откуда берутся носители заряда. Коллектор – область, куда стекаются носители заряда. База выполняет роль управляющей сетки в лампе.

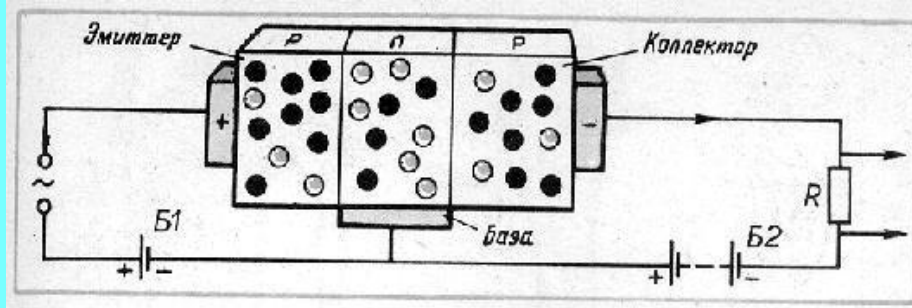


Рис. 14.13.

Управление током в выходной цепи осуществляется за счёт изменения входного напряжения или тока. Небольшое изменение входных величин может приводить к существенно большему изменению выходного напряжения и тока. Это усилительное свойство транзисторов используется в аналоговой технике (аналоговые ТВ, радио, связь и т. п.).

Вся современная цифровая техника построена, в основном, на полевых МОП (металл-оксид-полупроводник)-транзисторах (МОПТ), как более экономичных, по сравнению с БТ, элементах. Иногда их называют МДП (металл-диэлектрик-полупроводник)- транзисторы. Международный термин — MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor). Транзисторы изготавливаются в рамках интегральной технологии на одном кремниевом кристалле (чипе) и составляют элементарный «кирпичик» для построения микросхем памяти, процессора, логики и т. п. Размеры современных МОПТ составляют от 90 до 32 нм. На одном современном чипе (обычно размером 1—2 см²) размещаются несколько (пока единицы) миллиардов МОПТ. На протяжении 60 лет происходит уменьшение размеров (миниатюризация) МОПТ и увеличение их количества на одном чипе (степень интеграции), в ближайшие годы ожидается дальнейшее увеличение степени интеграции транзисторов на чипе (см. Закон Мура). Уменьшение размеров МОПТ приводит также к повышению быстродействия процессоров.