# Как устроены и работают полупроводниковые диоды

Борис Аладышкин

Диод - самый простейший по устройству в славном семействе полупроводниковых приборов. Если взять пластинку полупроводника, например германия, и в его левую половину ввести акцепторную примесь, а в правую донорную, то с одной стороны получится полупроводник типа P, соответственно с другой типа N. В середине кристалла получится, так называемый P-N переход, как показано на рисунке 1.

На этом же рисунке показано условное графическое обозначение диода на схемах: вывод катода (отрицательный электрод) очень похож на знак «-». Так проще запомнить.

Всего в таком кристалле две зоны с различной проводимостью, от которых выходят два вывода, поэтому полученный прибор получил название диод, поскольку приставка «ди» означает два.

В данном случае диод получился полупроводниковый, но подобные устройства были известны и раньше: например в эпоху электронных ламп был ламповый диод, называвшийся кенотрон. Сейчас такие диоды ушли в историю, хотя приверженцы «лампового» звука считают, что в ламповом усилителе даже выпрямитель анодного напряжения должен быть ламповым!

Рисунок 1. Строение диода и обозначение диода на схеме

На стыке полупроводников с P и N проводимостями получается P-N переход (P-N junction), который является основой всех полупроводниковых приборов. Но в отличии от диода, у которого этот переход лишь один, транзисторы имеют два P-N перехода, а, например, тиристоры состоят сразу из четырех переходов.

P-N переход в состоянии покоя

Даже если P-N переход, в данном случае диод, никуда не подключен, все равно внутри него происходят интересные физические процессы, которые показаны на рисунке 2.

Рисунок 2. Диод в состоянии покоя

В области N имеется избыток электронов, она несет в себе отрицательный заряд, а в области P заряд положительный. Вместе эти заряды образуют электрическое поле. Поскольку разноименные заряды имеют свойство притягиваться, электроны из зоны N проникают в положительно заряженную зону P, заполняя собой некоторые дырки. В результате такого движения внутри полупроводника возникает, хоть и очень маленький (единицы наноампер), но все-таки ток.

В результате такого движения возрастает плотность вещества на стороне P, но до определенного предела. Частицы обычно стремятся распространяться равномерно по всему объему вещества, подобно тому, как запах духов распространяется на всю комнату (диффузия), поэтому, рано или поздно, электроны возвращаются обратно в зону N.

Если для большинства потребителей электроэнергии направление тока роли не играет, - лампочка светится, плитка греется, то для диода направление тока играет огромную роль. Основная функция диода проводить ток в одном направлении. Именно это свойство и обеспечивается P-N переходом.

Далее рассмотрим, как ведет себя диод в двух возможных случаях подключения источника тока.

Включение диода в обратном направлении

Если к полупроводниковому диоду подключить источник питания, как показано на рисунке 3, то ток через P-N переход не пройдет.

Рисунок 3. Обратное включение диода

Как видно на рисунке, к области N подключен положительный полюс источника питания, а к области P – отрицательный. В результате электроны из области N устремляются к положительному полюсу источника. В свою очередь положительные заряды (дырки) в области P притягиваются отрицательным полюсом источника питания. Поэтому в области P-N перехода, как видно на рисунке, образуется пустота, ток проводить просто нечем, нет носителей заряда.

При увеличении напряжения источника питания электроны и дырки все сильней притягиваются электрическим полем батарейки, в области же P-N перехода носителей заряда остается все меньше. Поэтому в обратном включении ток через диод не идет. В таких случаях принято говорить, что диод заперт обратным напряжением.

Увеличение плотности вещества около полюсов батареи приводит к возникновению диффузии, - стремлению к равномерному распределению вещества по всему объему. Что и происходит при отключении элемента питания.

Обратный ток полупроводникового диода

Вот здесь как раз и настало время вспомнить о неосновных носителях, которые были условно забыты. Дело в том, что даже в закрытом состоянии через диод проходит незначительный ток, называемый обратным. Этот обратный ток и создается неосновными носителями, которые могут двигаться точно так же, как основные, только в обратном направлении. Естественно, что такое движение происходит при обратном напряжении. Обратный ток, как правило, невелик, что обусловлено незначительным количеством неосновных носителей.

С повышением температуры кристалла количество неосновных носителей увеличивается, что приводит к возрастанию обратного тока, что может привести к разрушению P-N перехода. Поэтому рабочие температуры для полупроводниковых приборов, - диодов, транзисторов, микросхем ограничены. Чтобы не допускать перегрева мощные диоды и транзисторы устанавливаются на теплоотводы – радиаторы.

Включение диода в прямом направлении

Показано на рисунке 4.

Рисунок 4. Прямое включение диода

Теперь изменим полярность включения источника: минус подключим к области N (катоду), а плюс к области P (аноду). При таком включении в области N электроны будут отталкиваться от минуса батареи, и двигаться в сторону P-N перехода. В области P произойдет отталкивание положительно заряженных дырок от плюсового вывода батареи. Электроны и дырки устремляются навстречу друг другу.

Заряженные частицы с разной полярностью собираются около P-N перехода, между ними возникает электрическое поле. Поэтому электроны преодолевают P-N переход и продолжают движение через зону P. При этом часть из них рекомбинирует с дырками, но большая часть устремляется к плюсу батарейки, через диод пошел ток Id.

Этот ток называется прямым током. Он ограничивается техническими данными диода, некоторым максимальным значением. Если это значение будет превышено, то возникает опасность выхода диода из строя. Следует, однако, заметить, что направление прямого тока на рисунке совпадает с общепринятым, обратным движению электронов.

Можно также сказать, что при прямом направлении включения электрическое сопротивление диода сравнительно небольшое. При обратном включении это сопротивление будет во много раз больше, ток через диод не идет (незначительный обратный ток здесь в расчет не принимается). Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что диод ведет себя подобно обычному механическому вентилю: повернул в одну сторону - вода течет, повернул в другую - поток прекратился. За это свойство диод получил название полупроводникового вентиля.

Чтобы детально разобраться во всех способностях и свойствах диода, следует познакомиться с его вольт – амперной характеристикой. Также неплохо узнать о различных конструкциях диодов и частотных свойствах, о достоинствах и недостатках.