**25-28.01.22 Электрический ток в полупроводниках. Собственная и примесная проводимости (окончание)**

**Примесная проводимость.** Собственная проводимость полупроводников обычно невелика, так как мало число свободных электронов: например, в германии при комнатной температуре nе = 3 • 1013 см-3. В то же время число атомов германия в 1 см3 порядка 1023.

Таким образом, число свободных электронов составляет примерно одну десятимиллиардную часть от общего числа атомов.

Проводимость полупроводников можно существенно увеличить, внедряя в них примесь. В этом случае наряду с собственной проводимостью возникает дополнительная — *примесная проводимость*.

|  |
| --- |
| Запомни Проводимость проводников, обусловленная внесением в их кристаллические решётки примесей (атомов посторонних химических элементов), называется **примесной проводимостью**. |

**Донорные примеси.** Добавим в кремний небольшое количество мышьяка. Атомы мышьяка имеют пять валентных электронов. Четыре из них участвуют в создании ковалентной связи данного атома с окружающими атомами кремния. Пятый валентный электрон оказывается слабо связанным с атомом. Он легко покидает атом мышьяка и становится свободным (рис. 16.8).

При добавлении одной десятимиллионной доли атомов мышьяка концентрация свободных электронов становится равной 1016 см-3. Это в тысячу раз больше концентрации свободных электронов в чистом полупроводнике.

|  |
| --- |
| Запомни Примеси, легко отдающие электроны и, следовательно, увеличивающие число свободных электронов, называют **донорными** (отдающими) **примесями**. |

Свободные электроны перемещаются по полупроводнику подобно тому, как перемещаются свободные электроны в металле.

|  |
| --- |
| Запомни Полупроводники, имеющие донорные примеси и потому обладающие большим числом электронов (по сравнению с числом дырок), называются **полупроводниками n-типа** (от английского слова negative — отрицательный). |

|  |
| --- |
| Важно В полупроводнике n-типа электроны являются основными носителями заряда, а дырки — *неосновными*. |

**Акцепторные примеси.** Если в качестве примеси использовать индий, атомы которого трёхвалентны, то характер проводимости полупроводника меняется. Для образования нормальных парноэлектронных связей с соседями атому индия недостаёт одного электрона, который он берёт у соседнего атома кристалла. В результате образуется дырка. Число дырок в кристалле равно числу атомов примеси (рис. 16.9).

|  |
| --- |
| Запомни Примеси в полупроводнике, создающие дополнительную концентрацию дырок, называют **акцепторными** (принимающими) **примесями**. |

При наличии электрического поля дырки перемещаются направленно и возникает электрический ток, обусловленный дырочной проводимостью.

|  |
| --- |
| Запомни Полупроводники с преобладанием дырочной проводимости над электронной называют **полупроводниками p-типа** (от английского слова positive — положительный). |

|  |
| --- |
| Важно Основными носителями заряда в полупроводнике p-типа являются дырки, а неосновными — электроны. |

|  |
| --- |
|  |

Изменяя концентрацию примеси, можно значительно изменять число носителей заряда того или иного знака. Благодаря этому можно создавать полупроводники с преимущественной концентрацией одного из носителей тока электронов или дырок. Эта особенность полупроводников открывает широкие возможности для их практического применения.

|  |
| --- |
| **Ключевые слова для поиска информации по теме параграфа.** Проводимость полупроводников. Примесная проводимость |

**Д/З Вопросы:**

1. Какую связь называют ковалентной?

2. В чём состоит различие зависимости сопротивления полупроводников и металлов от температуры?

3. Какие подвижные носители зарядов имеются в чистом полупроводнике?

4. Что происходит при встрече электрона с дыркой?

5. Почему сопротивление полупроводников сильно зависит от наличия примесей?

6. Какие носители заряда являются основными в полупроводнике с акцепторной примесью?

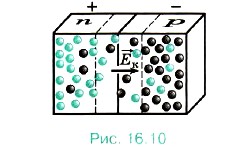
7. Какую примесь надо ввести в полупроводник, чтобы получить полупроводник n-типа?

**Тема: Электрический ток через контакт полупроводников с разным типом проводимости. Транзисторы**

Наиболее интересные явления происходят при контакте полупроводников n- и p-типов. Эти явления используются в большинстве полупроводниковых приборов.

**р—n-Переход.** Рассмотрим, что будет происходить, если привести в контакт два одинаковых полупроводника, но с разным типом проводимости: слева полупроводник n-типа, а справа полупроводник р-типа (рис. 16.10).

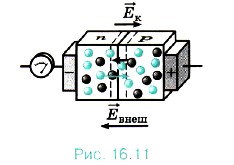
|  |
| --- |
| Запомни Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости называют **р-n-** или **n-р-переходом**. |

Электроны на рисунке изображены голубыми кружочками, дырки — серыми.

В левой части много свободных электронов, а в правой их концентрация очень мала. В правой части, наоборот, много дырок, т. е. вакантных мест для электронов. Как только полупроводники приводят в контакт, начинается диффузия электронов из области с проводимостью n-типа в область с проводимостью p-типа и соответственно переход дырок в обратном направлении. Перешедшие в полупроводник p-типа электроны занимают свободные места, происходит процесс рекомбинации электронов и дырок, а попавшие в полупроводник n-типа дырки также исчезают благодаря электронам, занимающим вакантное место. Таким образом, вблизи границы раздела полупроводников с разным типом проводимости возникает слой, обеднённый носителями тока (его называют контактным слоем). Этот слой фактически представляет собой диэлектрик, его сопротивление очень велико. При этом полупроводник n-типа заряжается положительно, а полупроводник р-типа — отрицательно. В зоне контакта возникает стационарное электрическое поле напряжённостью http://www.xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_10_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/89.1.jpgк, препятствующее дальнейшей диффузии электронов и дырок.

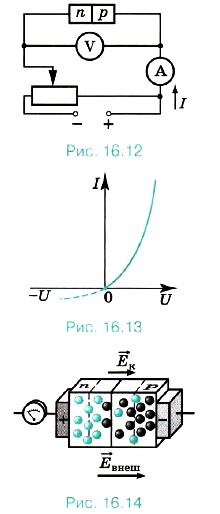
|  |
| --- |
| . |

Суммарное сопротивление приведённых в контакт полупроводников складывается из сопротивления полупроводника л-типа, р—n-перехода и полупроводника p-типа: R = Rn + Rpn + Rр. Так как сопротивления областей с n- и p-типами проводимости малы (там много носителей заряда — электронов и дырок), то суммарное сопротивление определяется в основном сопротивлением р—n-перехода: R ≈ Rpn.

Включим полупроводник с р—n-переходом в электрическую цепь так, чтобы потенциал полупроводника p-типа был положительным, а n-типа — отрицательным (рис. 16.11). В этом случае напряжённость внешнего поля будет направлена в сторону, противоположную напряжённости контактного слоя.

Модуль суммарной напряжённости E = Eк - Eвнеш. Так как поле, удерживающее носители тока, ослабевает, то у электронов уже достаточно энергии, чтобы его преодолеть.

|  |
| --- |
| Важно Через переход пойдёт ток, при этом он будет создан основными носителями — из области с n-типом проводимости в область с p-типом проводимости идут электроны, а из области с p-типом в область с n-типом — дырки. В этом случае р—n-переход называется **прямым**. |

Отметим, что электрический ток идёт во всей цепи: от положительного контакта через область p-типа к р—n-переходу, затем через область n-типа к отрицательному контакту (рис. 16.12). Проводимость всего образца велика, а сопротивление мало. Чем больше подаваемое на контакт напряжение, тем больше сила тока.

Зависимость силы тока от разности потенциалов — вольт-амперная характеристика прямого перехода — изображена на рисунке (16.13) сплошной линией.

Отметим, что изменение подаваемого напряжения приводит к резкому увеличению силы тока. Так, увеличение напряжения на 0,25 В может привести к увеличению силы тока в 20 000 раз.

При прямом переходе сопротивление запирающего слоя мало, и оно также зависит от подаваемого напряжения, с увеличением которого сопротивление уменьшается.

Изменим теперь полярность подключения батареи. В этом случае напряжённости внешнего и контактного полей направлены в одну сторону (рис. 16.14) и модуль суммарной напряжённости E = Eк - Eвнеш. Внешнее поле оттягивает электроны и дырки от контактного слоя, в результате чего он расширяется. В связи с этим у электронов уже не хватает энергии для того, чтобы преодолеть этот слой. Теперь переход через контакт осуществляется неосновными носителями, число которых мало.

|  |
| --- |
| Важно Сопротивление контактного слоя очень велико. Ток через р—n-переход не идёт. Образуется так называемый запирающий слой. Такой переход называется **обратным**. |

Вольт-амперная характеристика обратного перехода изображена на рисунке 16.13 штриховой линией.

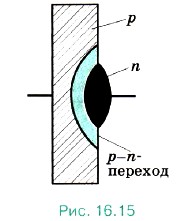
р—n-Переход по отношению к току оказывается несимметричным: в прямом направлении сопротивление перехода значительно меньше, чем в обратном. Таким образом, р—n-переход можно использовать для выпрямления электрического тока.

|  |
| --- |
| Запомни Устройство, содержащее р—n-переход и способное пропускать ток в одном направлении и не пропускать в противоположном, называется **полупроводниковым диодом**. |

Если на контакты полупроводникового диода подать переменное напряжение, то ток по цепи пойдёт только в одну сторону.

Полупроводниковые диоды изготовляют из германия, кремния, селена и других веществ.

|  |
| --- |
|  |

Рассмотрим, как создают р—n- переход, используя германий, обладающий проводимостью n-типа, с небольшой добавкой донорной примеси. Этот переход не удаётся получить путём механического соединения двух полупроводников с различными типами проводимости, так как при этом получается слишком большой зазор между полупроводниками. Толщина же р—n-перехода должна быть не больше межатомных расстояний, поэтому в одну из поверхностей образца вплавляют индий. Для создания полупроводникового диода полупроводник с примесью p-типа, содержащий атомы индия, нагревается до высокой температуры. Пары примеси n-типа (например, мышьяка) осаждаются на поверхность кристалла. Вследствие диффузии они внедряются в кристалл, и на поверхности кристалла с проводимостью р-типа образуется область с электронным типом проводимости (рис. 16.15).

Для предотвращения вредных воздействий воздуха и света кристалл германия помещают в герметичный металлический корпус.

|  |
| --- |
| энергия в виде светового излучения. |

Схематическое изображение диода приведено на рисунке 16.16. Полупроводниковые выпрямители обладают высокой надёжностью и имеют большой срок службы. Однако они могут работать лишь в ограниченном интервале температур (от -70 до 125 °С).

Вопросы к параграфу

1. Что происходит в контакте двух проводников n- и р-типов?

2. Что такое запирающий слой?

3. Какой переход называют прямым?

4. Для чего служит полупроводниковый диод?

5. Почему база транзистора должна быть узкой?

6. Как надо включать в цепь транзистор, у которого база является полупроводником p-типа, а эмиттер и коллектор — полупроводниками n-типа?

7. Почему сила тока в коллекторе почти равна силе тока в эмиттере?

[**leyla.alkhuvatova@mail.ru**](mailto:leyla.alkhuvatova@mail.ru)