13 апреля гр.26Т Электротехника

Тема урока.: **Полупроводниковые приборы**

**Электропроводимость полупроводников, образование и свойства п – р перехода, контактные явления в полупроводниках**

**Литература**

Немцов М.В. Немцова МЛ «Электротехника и электроника»

Стр.340 – 343

*Электроника —* наука о взаимодействии заряженных частиц с электромагнитными полями и методах создания электронных при­боров и устройств, работа которых основана на прохождении электрического тока в твердом теле, вакууме и газах. Соответ­ственно электронные приборы называются полупроводниковыми, электронно-вакуумными и газоразрядными. В настоящее время электронно-вакуумные и газоразрядные приборы применяются только в специальных случаях и рассматриваться здесь не будут.

*Полупроводники* объединяют обширный класс материалов с удельным объемным сопротивлением 108—10~6 Ом \* м. Наиболь­шее применение нашли кремний Si и германий Ge. Рассмотрим основные процессы в полупроводниковых материалах на основе их идеализированных моделей.

В электронной структуре идеального кристалла кремния из IV группы Периодической системы элементов Д. И. Менделеева каждый из четырех валентных электронов любого атома образу­ет связанную пару (валентную связь) с такими же валентными электронами четырех соединений атомов. Если на атомы кремния не действуют внешние источники энергии, например свет, тепло­та, способные нарушить его электронную структуру, то все ато­мы электрически нейтральны. Такой идеальный кристалл кремния не проводит электрический ток.

 Однако электрические свойства идеального кристалла кремния существенно изменяются при добавлении в него примесей других химических элементов. В качестве примесей применяются обыч­но элементы либо из V (сурьма Sb, фосфор Р), либо из III (галлий Ga, индий In) группы Периодической системы.

В электронной структуре кристалла кремния с примесью фос­фора четыре валентных электрона фосфора и валентные электро­ны четырех соседних атомов кремния образуют четыре связан­ные пары. Пятый валентный электрон фосфора оказывается из­быточным. При незначительных затратах энергии от внешних ис­точников избыточный электрон теряет связь с атомом примеси и становится свободным электроном. Атом фосфора, потеряв элек­трон, становится неподвижным положительным ионом. Такой по­лупроводник называется полупроводником с электронной элект­рической проводимостью, или *полупроводником п-типа,* а соот­ветствующая примесь — *донорной.* На рис. 13.1 приведено услов­ное изображение идеального полупроводника л-типа, на котором неподвижный положительный ион обозначен знаком плюс в кру­жочке, а подвижный свободный электрон — знаком минус.

Если в качестве примеси используется индий, имеющий три валентных электрона, то в электронной структуре кристалла кремния одна валентная связь атома индия с четырьмя соседни­ми атомами кремния недоукомплектована и в кристалле образу­ется дырка. Для формирования устойчивой электронной структу­ры кристалла необходим дополнительный электрон. Атом индия захватывает один электрон из валентной связи между соседними атомами кремния. При этом атом индия превращается в устойчи­вый неподвижный отрицательный ион, а дырка перемещается на место расположения захваченного электрона. Далее на место вновь образовавшейся дырки перемещается электрон из соседней валентной связи и т.д. Этот процесс можно представить как хао­тическое движение в кристалле свободных дырок с положитель­ным зарядом, равным заряду электрона. Такой полупроводник на­зывается полупроводником с дырочной электрической проводи­мостью, или *полупроводником p-типа,* а соответствующая при­месь — *акцепторной.* На рис. 13.2 приведено условное изображе­ние идеального полупроводника р-типа



Рис.13.1 рис.13.2 рис.13.3

Хотя в обоих рассмотренных выше процессах участвуют толь­ко электроны, введение фиктивных дырок с положительным за­рядом удобно с методической точки зрения.

 Свободные электроны и дырки возникают не только в полу­проводниках, содержащих примеси, но и в идеальных полупро­водниках без примесей, если энергии внешнего источника до­статочно для разрыва валентной связи. Разрыв одной валентной связи в электрически нейтральном атоме кремния эквивалентен рождению пары «электрон — дырка», изображенной условно на рис. 13.3. Этот процесс называется *генерацией,* или *термогенера­цией,* если источником энергии служит тепловая энергия. Одно­временно протекает и обратный процесс — *рекомбинация,* т.е. восстановление валентной связи при встрече электрона и дырки.

Благодаря термогенерации в идеальном полупроводнике как с донорной, так и акцепторной примесью имеются свободные за­ряды обоих знаков. Для полупроводников п-типа свободные электроны называются *основными,* а дырки — *неосновными носи­телями* зарядов. Для полупроводника p-типа основными носите­лями зарядов служат дырки, а неосновными — электроны. В даль­нейшем эти заряды будем называть основными и неосновными носителями. Концентрация основных носителей, т. е. их число в 1 см3, обычно значительно превышает концентрацию неоснов­ных носителей.

Если с помощью внешнего источника электрической энергии создать в одном полупроводниковом стержне электрическое поле напряженностью *Ж,* то наряду с хаотическим (тепловым) движе­нием электронов и дырок возникнет их упорядоченное движение (дрейф) в противоположных направлениях, т.е. электрический ток, называемый *током проводимости.*

КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В полупроводниковых приборах используются явления, возни­кающие на границе раздела как между полупроводниками *р-* и л-типов, так и между этими полупроводниками и диэлектриками, а также металлами.

**Контактные явления на границе раздела полупроводников *р-* и п-типов.** Для удобства анализа воспользуемся идеализированной плоскопараллельной конструкцией границы раздела полупроводни­ков (рис. 13.4, *а).* Рассмотрим сначала явления на границе раздела идеальных полупроводников р- и л-типов, в которых будем пренеб­регать термогенерацией, т. е. неосновными носителями

При разомкнутой цепи источника энергии вследствие разности концентраций свободных дырок и электронов по обе стороны от границы раздела полупроводников из полупроводника р-типа часть дырок диффундирует (перемещается) в полупроводник *п-* типа, а из полупроводника п-типа часть электронов диффундиру­ет в полупроводник p-типа, полностью рекомбинируя между со­бой. В результате вдоль границы раздела полупроводников возни­кают слои неподвижных отрицательных и положительных ионов соответственно со стороны полупроводников р- и п-типов, которые образуют р-п-переход. Абсолютные значения зарядов обоих слоев одинаковые. Возникающее между этими слоями электрическое поле напряженностью *%* препятствует дальнейшей диффузии сво­бодных дырок и электронов через границу раздела. При некотором значении напряженности электрического поля в р-л-переходе диф­фузия через границу раздела полностью прекращается. Если на границе раздела *(х =* 0, рис. 13.4, *б)* принять значение потенциа­ла V"(0) = 0, то распределение потенциала в полупроводниках р- и п-типов будет определяться зависимостью

Разность потенциалов *AU* в р-п-переходе называется *высотой потенциального барьера.* Если к свободным торцам полупровод­ников р- и п-типов подключить источник энергии напряжением *U <* 0, то высота потенциального барьера возрастает и в цепи не бу­дет тока. Если напряжение источника *U >* 0, то высота потенциаль­ного барьера уменьшится и в цепи возникнет электрический ток. Следовательно, в идеальном р-п-переходе может быть электричес­кий *ток диффузии основных носителей* только одного направления.

Термогенерация изменяет процессы в р-п-переходе. При уве­личении потенциального барьера под действием внешнего источ­ника энергии ток уже не равен нулю. Вследствие малой интенсив­ности термогенерации значение этого тока невелико.

**Контактные явления на границе раздела полупроводника и металла.** Если потенциал выхода для металла VM меньше потенци­ала выхода для полупроводника л-типа VSi(n), то происходит пре­имущественный переход электронов из металла в полупроводник, в приграничном слое которого возникает обогащенный слой. Та­кая граница раздела проводит ток в обоих направлениях и ис­пользуется для конструирования выводов полупроводниковых приборов

**ЗАДАНИЕ**

 1.Составить краткий конспект

 2.Ответить на вопросы.

**Какая орбита электрона называется разрешенной?**

1. На которой центробежная сила уравновешивается силой притяжения электрона к ядру.
2. Длина которой кратна длине волны де Бройля, связанной с электроном**.**
3. Верны оба определения.

**2)Какой атом называется возбужденным?**

1. Атом, поглотивший один квант энергии.
2. Атом, поглотивший один или несколько квантов энергии.
3. Атом, из которого вырван электрон.

**3)Какой атом называется ионом?**

1. Атом, поглотивший один квант энергии.
2. Атом, поглотивший один или несколько квантов энергии.
3. Атом, из которого вырван электрон. •

**4)Какая из трех показанных на рис. энергетических ди­аграмм принадлежит полупроводнику**

  

**5)У какого материала зона проводимости отделена от валентной зоны узкой запрещенной** **зоной?**

1. У проводника.
2. У полупроводника.
3. У изолятора.

**6)Почему с увеличением температуры увеличивается проводимость полупроводникового кристалла?**

1. Увеличивается количество пар свободных носителей заряда.
2. Увеличивается длина свободного пробега электронов.
3. Увеличивается ширина запрещенной зоны.

**7)Как влияют примесные зоны в полупроводнике на процесс образования пар свободных носителей заряда?**

1. Облегчают процесс.
2. Затрудняют процесс.
3. Не влияют.

8. Что является свободными носителями заряда в полупроводнике типа n?

1. Электроны. 2. Дырки. 3. Электроны и дырки.

**Отчет присылать на электронную почту nade2hda.boyko@yandeх.ru**