

Дата **2.03.2023 г.** Группа ТЭК 1/1. Курс 1. Семестр 2

Дисциплина: Физика

Тема занятия: Полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников

Цель занятия:

-*методическая* - совершенствование методики проведения лекционного занятия;

- *учебная* – изучить свойства полупроводников;

- *воспитательная* – формирование стремления к овладению знаний, активности, самостоятельности суждения.

Вид занятия: Лекция

Интеграционные связи: тема взаимосвязана с предыдущими темами дисциплины «Физика»

Список литературы по теме:

1.Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 9 изд.,стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)

2.Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 11 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М.Чаругин; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 10 изд.,стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)

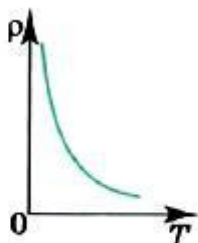
3.Рымкевич А.П. Задачник: сборник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М., «Дрофа» 2008.

Тема: Полупроводники. Собственная и примесная проводимости полупроводников

1. Полупроводники
2. Электронная и дырочная проводимость
3. Примесная проводимость

1. Полупроводники

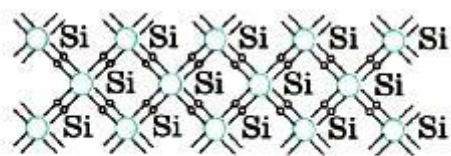
Полупроводники — вещества, удельное сопротивление которых имеет промежуточное значение между удельным сопротивлением металлов (10^{-6} — 10^{-8} Ом • м) и удельным сопротивлением диэлектриков (10^8 - 10^{13} Ом • м).



Отличие проводников от полупроводников особенно проявляется при анализе зависимости их электропроводимости от температуры. Исследования показывают, что у ряда элементов (кремний, германий, селен, индий, мышьяк и др.) и соединений (PbS, CdS, GaAs и др.) удельное сопротивление с увеличением температуры не растёт, как у металлов, а, наоборот, чрезвычайно резко уменьшается (рис.1). Такое свойство присуще именно полупроводникам.

Из графика, изображённого на рисунке, видно, что при температурах, близких к абсолютному нулю, удельное сопротивление полупроводников очень велико. Это означает, что при низких температурах полупроводник ведёт себя как диэлектрик. По мере повышения температуры его удельное сопротивление быстро уменьшается.

Строение полупроводников. Для того чтобы включить транзисторный приёмник, знать ничего не надо. Но чтобы его создать, надо было знать очень много. Понять же в общих чертах, как работает транзистор, не так уж и трудно. Сначала необходимо познакомиться с механизмом проводимости в полупроводниках. А для этого придётся вникнуть в *природу связей*, удерживающих атомы полупроводникового кристалла друг возле друга.



Для примера рассмотрим кристалл кремния. Кремний — четырёхвалентный элемент. Это означает, что во внешней оболочке его атома имеется четыре электрона, сравнительно слабо связанные с ядром. Число ближайших соседей каждого атома кремния также равно четырём. Схема структуры кристалла кремния изображена на рисунке 2.

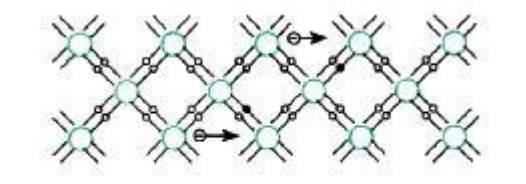
Взаимодействие пары соседних атомов осуществляется с помощью парно электронной связи, называемой **ковалентной связью**. В образовании этой связи от каждого атома участвует по одному валентному электрону, электроны отделяются от атома, которому они принадлежат, и при своём движении большую часть времени проводят в пространстве между соседними атомами. Их отрицательный заряд удерживает положительные ионы кремния друг возле друга.

Не надо думать, что пара электронов принадлежит лишь двум атомам. Каждый атом образует четыре связи с соседними, и любой валентный электрон может двигаться по одной из них. Дойдя до соседнего атома, он может перейти к следующему, а затем дальше вдоль всего кристалла. Валентные электроны принадлежат всему кристаллу.

Парно электронные связи в кристалле кремния достаточно прочны и при низких температурах не разрываются. *Поэтому кремний при низкой температуре не проводит электрический ток.* Участвующие в связи атомов валентные электроны являются как бы цементирующим раствором, удерживающим кристаллическую решётку, и внешнее электрическое поле не оказывает заметного влияния на их движение. Аналогичное строение имеет кристалл германия.

2. Электронная и дырочная проводимость

При нагревании кремния кинетическая энергия частиц повышается, и наступает разрыв отдельных связей. Некоторые электроны покидают свои «проторённые пути» и становятся свободными, подобно электронам в металле. В электрическом поле они перемещаются между узлами решётки, создавая электрический ток (рис.3).



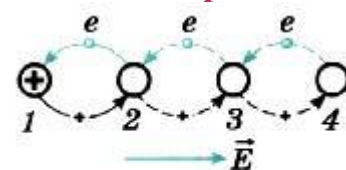
Проводимость полупроводников, обусловленную наличием у них свободных электронов, называют **электронной проводимостью**.

При повышении температуры число разорванных связей, а значит, и свободных электронов увеличивается. При нагревании от 300 до 700 К число свободных носителей заряда увеличивается от 10^{17} до 10^{24} 1/мл³. Это приводит к уменьшению сопротивления.

Дырочная проводимость.

При разрыве связи между атомами полупроводника образуется вакантное место с недостающим электроном, которое называют **дыркой**.

В дырке имеется избыточный положительный заряд по сравнению с остальными, не разорванными связями (рис.4).



Положение дырки в кристалле не является неизменным. Непрерывно происходит следующий процесс. Один из электронов, обеспечивающих связь атомов, перескакивает на место образовавшейся дырки и восстанавливает здесь парно электронную связь, а там, откуда перескочил этот электрон, образуется новая дырка. Таким образом, дырка может перемещаться по всему кристаллу.

Если напряжённость электрического поля в образце равна нулю, то перемещение дырок происходит беспорядочно и поэтому не создаёт электрического тока. При наличии электрического поля возникает упорядоченное перемещение дырок.

Направление движения дырок противоположно направлению движения электронов (рис.4).

В отсутствие внешнего поля на один свободный электрон (-) приходится одна дырка (+). При наложении поля свободный электрон смещается против напряжённости поля. В этом направлении перемещается также один из связанных электронов. Это выглядит как перемещение дырки в направлении поля.

Итак, в полупроводниках имеются носители заряда двух типов: электроны и дырки.

Запомни!

Проводимость, обусловленная движением дырок, называется **дырочной проводимостью** полупроводников.

Мы рассмотрели механизм проводимости чистых полупроводников.

Запомни!

Проводимость чистых полупроводников называют **собственной проводимостью**.

3. Примесная проводимость

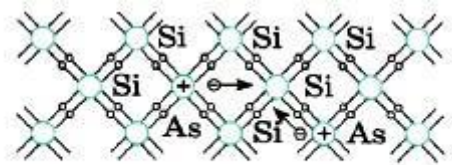
Собственная проводимость полупроводников обычно невелика, так как мало число свободных электронов: например, в германии при комнатной температуре $n_e = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. В то же время число атомов германия в 1 см^3 порядка 10^{23} .

Таким образом, число свободных электронов составляет примерно одну десятиллиардную 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. 5).

При добавлении одной десятиллионной доли атомов мышьяка концентрация свободных электронов становится равной 10^{16} 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**.

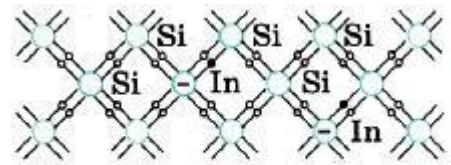
Свободные электроны перемещаются по полупроводнику подобно тому, как перемещаются свободные электроны в металле.

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).

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 парно



электронных 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.6).

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 р-типа** (от английского слова positive — положительный).

Основными носителями заряда в полупроводнике р-типа являются дырки, а неосновными — электроны.

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

Задание для самостоятельной работы:

1. Краткий конспект лекции
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.
4. Фотографию прислать в личном сообщении ВК <https://vk.com/id139705283>

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, **2.03.2023**, группа ТЭК 1/1 «Физика»