**31.01-4.02.22 Тема: Электрический ток в полупроводниках. Собственная и примесная проводимости**

|  |
| --- |
| 1)Запомни **Полупроводники** — вещества, удельное сопротивление которых имеет промежуточное значение между удельным сопротивлением металлов (10-6—10-8 Ом • м) и удельным сопротивлением диэлектриков (108—1013 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 (см. рис. 16.3), а, наоборот, чрезвычайно резко уменьшается (рис. 16.4). Такое свойство

**Строение полупроводников.**  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 (16.5).

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

**Электронная 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. 16.6).

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

**Дырочная проводимость.**

|  |
| --- |
| Запомни 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 (см. рис. 16.6).

|  |
| --- |
| Важно Направление движения дырок противоположно направлению движения электронов (рис. 16.7). |

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**. |

**2)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).

|  |
| --- |
| 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.

|  |
| --- |
|  |

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?

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

**Тема: Электрический ток в жидкостях. Закон электролиза**

Жидкости, как и твёрдые тела, могут быть диэлектриками, проводниками и полупроводниками. К диэлектрикам относится дистиллированная вода, к проводникам — растворы и расплавы электролитов: кислот, щелочей и солей. Жидкими полупроводниками являются расплавленный селен, расплавы сульфидов и др.

**Электролитическая диссоциация.** При растворении электролитов под влиянием электрического поля полярных молекул воды происходит распад молекул электролитов на ионы.

|  |
| --- |
| Запомни Распад молекул на ионы под влиянием электрического поля полярных молекул воды называется **электролитической диссоциацией**.  **Степень диссоциации** — доля в растворённом веществе молекул, распавшихся на ионы. |

|  |
| --- |
| Важно С увеличением температуры степень диссоциации возрастает и, следовательно, увеличивается концентрация положительно и отрицательно заряженных ионов. |

|  |
| --- |
|  |

.

**Ионная проводимость.**

|  |
| --- |
| Важно Носителями заряда в водных растворах или расплавах электролитов являются положительно и отрицательно заряженные ионы. |

Если сосуд с раствором электролита включить в электрическую цепь, то отрицательные ионы начнут двигаться к положительному электроду — аноду, а положительные — к отрицательному — катоду. В результате по цепи пойдёт электрический ток.

|  |
| --- |
| Запомни Проводимость водных растворов или расплавов электролитов, которая осуществляется ионами, называют **ионной проводимостью**. |

Жидкости могут обладать и электронной проводимостью. Такой проводимостью обладают, например, жидкие металлы.

**Электролиз.** При ионной проводимости прохождение тока связано с переносом вещества. На электродах происходит выделение веществ, входящих в состав электролитов. На аноде отрицательно заряженные ионы отдают свои лишние электроны (в химии это называется окислительной реакцией), а на катоде положительные ионы получают недостающие электроны (восстановительная реакция).

|  |
| --- |
| . |

|  |
| --- |
| Запомни Процесс выделения на электроде вещества, связанный с окислительновосстановительными реакциями, называют **электролизом**. |

От чего зависит масса вещества, выделяющегося за определённое время? Очевидно, что масса m выделившегося вещества равна произведению массы m0i одного иона на число Ni ионов, достигших электрода за время Δt:

m = m0iNi.                     (16.3)

Масса иона m0i равна:

Масса иона m<sub>0i</sub> равна

где М — молярная (или атомная) масса вещества, a NA — постоянная Авогадро, т. е. число ионов в одном моле.

Число ионов, достигших электрода, равно:

Число ионов, достигших электрода, равно

где Δq = IΔt — заряд, прошедший через электролит за время Δt; q0i — заряд иона, который определяется валентностью n атома: q0i = пе (е — элементарный заряд). При диссоциации молекул, например КВr, состоящих из одновалентных атомов (n = 1), возникают ионы К+ и Вr-. Диссоциация молекул медного купороса ведёт к появлению двухзарядных ионов Си2+ и SO2-4 (n = 2). Подставляя в формулу (16.3) выражения (16.4) и (16.5) и учитывая, что Δq = IΔt, a q0i = nе, получаем

(16.6)

**Закон Фарадея.** Обозначим через k коэффициент пропорциональности между массой m вещества и зарядом Δq = IΔt, прошедшим через электролит:

Коэффициент пропорциональности между массой m вещества и зарядом

где F = eNA = 9,65 • 104 Кл/моль — *постоянная Фарадея*.

Коэффициент k зависит от природы вещества (значений М и n). Согласно формуле (16.6) имеем

m = kIΔt.                     (16.8)

|  |
| --- |
| Закон электролиза Фарадея Масса вещества, выделившегося на электроде за время Δt. при прохождении электрического тока, пропорциональна силе тока и времени. |

Это утверждение, полученное нами теоретически, впервые было установлено экспериментально Фарадеем.

|  |
| --- |
| Запомни Величину k в формуле (16.8) называют **электрохимическим эквивалентом** данного вещества и выражают в *килограммах на кулон* (кг/Кл). |

|  |
| --- |
|  |

Электрохимический эквивалент имеет простой физический смысл. Так как M/NA = m0i и еn = q0i, то согласно формуле (16.7) k = rn0i/q0i, т. е. k — отношение массы иона к его заряду.

Измеряя величины m и Δq, можно определить электрохимические эквиваленты различных веществ.

|  |
| --- |
|  |

Определение заряда электрона. Формулу (16.6) для массы выделившегося на электроде вещества можно использовать для определения заряда электрона. Из этой формулы вытекает, что модуль заряда электрона равен:

модуль заряда электрона равен

Зная массу m выделившегося вещества при прохождении заряда IΔt, молярную массу М, валентность п атомов и постоянную Авогадро NA, можно найти значение модуля заряда электрона. Оно оказывается равным e = 1,6 • 10-19 Кл.

Именно таким путём и было впервые в 1874 г. получено значение элементарного электрического заряда.

**Применение электролиза.** Электролиз широко применяют в технике для различных целей. Электролитическим способом покрывают поверхность одного металла тонким слоем другого (*никелирование, хромирование, позолота* и т. п.). Это прочное покрытие защищает поверхность от коррозии. Процесс получения отслаиваемых покрытий — *гальванопластика* — был разработан русским учёным Б. С. Якоби (1801—1874), который в 1836 г. применил этот способ для изготовления полых фигур для Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге.

|  |
| --- |
|  |

При помощи электролиза осуществляют очистку металлов от примесей. Так, полученную из руды неочищенную медь отливают в форме толстых листов, которые затем помещают в ванну в качестве анодов. При электролизе медь анода растворяется, примеси, содержащие ценные и редкие металлы, выпадают на дно, а на катоде оседает чистая медь.

При помощи электролиза получают алюминий из расплава бокситов. Именно этот способ получения алюминия сделал его дешёвым и наряду с железом самым распространённым в технике и быту.

С помощью электролиза получают электронные платы, служащие основой всех электронных изделий. На диэлектрик наклеивают тонкую медную пластину, на которую наносят особой краской сложную картину соединяющих проводов. Затем пластину помещают в электролит, где вытравливаются не закрытые краской участки медного слоя. После этого краска смывается, и на плате появляются детали микросхемы.

|  |
| --- |
|  |

**Д/З Вопросы:**

1. Почему при прохождении тока по раствору электролита происходит перенос вещества, а при прохождении по металлическому проводнику перенос вещества не происходит?

2. В чём состоит сходство и различие собственной проводимости у полупроводников и у растворов электролитов?

3. Сформулируйте закон электролиза Фарадея.

4. Почему отношение массы вещества, выделившегося при электролизе, к массе иона равно отношению прошедшего заряда к заряду иона?

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