

Тема 4.1 «Физические процессы в полупроводниках»

Полупроводниковые материалы обладают проводимостью, которой можно управлять, изменяя напряжение, температуру, освещенность и другие факторы. По способности проводить электрический ток полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

Диапазон значений удельного электрического сопротивления: - для проводников при комнатной температуре от $1,6 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; - низкочастотных изоляционных материалов от $10^6 \dots 10^8$ до $10^{14} \dots 10^{16}$ Ом·м; - полупроводников $1 \cdot 10^{-6} \dots 10^9$ Ом·м. Эти границы условны и в определенном диапазоне перекрываются, что связано с особенностями этих групп материалов.

Одной из особенностей полупроводниковых материалов является их поведение при изменении температуры.

У проводниковых материалов при температуре, стремящейся к нулю, удельная электрическая проводимость увеличивается, а при переходе в сверхпроводящее состояние - приобретает бесконечно большие значения (рисунок 1, кривая 1).

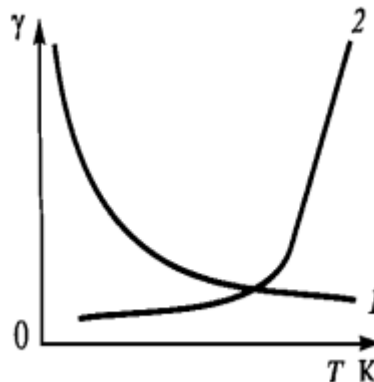


Рисунок1 – Зависимость удельной проводимости металлов (1) и полупроводников (2) от температуры

В отличие от проводников у полупроводников при уменьшении температуры их (рисунок 1, кривая 2) удельная электрическая проводимость уменьшается, а при стремлении температуры к 0 К (-273°C) полупроводники прекращают проводить электрический ток и переходят в разряд диэлектриков.

При повышении температуры удельная электрическая проводимость у полупроводников резко увеличивается. Такой характер поведения полупроводников при изменении температуры позволяет использовать тепло для управления их удельной электрической проводимостью.

В проводниковых материалах проводимость связана с появлением свободных зарядов, что вызвано изменением температуры и внутренним строением полупроводника.

Для появления свободных носителей заряда в полупроводниковом материале требуется внешняя энергия (тепловая, механическая нагрузка, облучение ядерными частицами, электрическое или магнитное поля и т.д.).

Если носители заряда появились под действием тепла, то они называются равновесными.

В результате воздействия на полупроводник других видов энергии образуются дополнительные неравновесные носители зарядов.

Электропроводность полупроводника резко изменяется при введении в него даже незначительного числа атомов примесного вещества. Она зависит не только от количества, но и от вида постороннего элемента. Например, при введении в химически чистый германий 0,001 % мышьяка его удельная проводимость увеличивается в 10 000 раз.

Основные свойства полупроводников:

- 1) в большом интервале температур их удельное сопротивление уменьшается, т.е. они имеют отрицательный температурный коэффициент удельного сопротивления;
- 2) при введении в полупроводник малого количества примесей их удельное сопротивление резко изменяется;
- 3) они чувствительны к различного рода внешним воздействиям - свету, ядерному излучению, электрическому и магнитному полям, давлению и т.д.;
- 4) Полупроводники допускают обратное преобразование электрической энергии в тепловую, световую или механическую.

Классификация полупроводниковых материалов.

Полупроводниковыми свойствами обладает целый ряд материалов - природных и синтетических, органических и неорганических, простых и сложных по химическому составу.

К простым полупроводникам относятся германий, кремний, селен, теллур, бор, углерод, фосфор, сера, сурьма, мышьяк, серое олово, йод. Простые полупроводники не всегда отвечают требованиям современного производства полупроводниковых приборов.

Для создания материалов с различными свойствами широко используют сложные неорганические или органические полупроводниковые соединения. Сложные неорганические полупроводники образованы атомами различных химических элементов таблицы Д.И.Менделеева.

Они бывают:

- 1) двойные (бинарные) соединения типа $A_x^m B_y^n$;
- 2) тройные соединения типа $A_x^m B_y^n C_z^k$, где верхние индексы m, n и k обозначают номер группы Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, а нижние x, y и z - число атомов этого элемента в соединении;
- 3) твердые растворы, например, гидрированные некристаллические полупроводниковые материалы на основе кремния.

Среди бинарных соединений широкое практическое применение нашли:

- 1) Полупроводниковые соединения типа $A^{III} B^V$. Они являются ближайшими аналогами кремния и германия и представляют собой

химические соединения металлов III группы Периодической системы химических элементов Д.И.Менделеева (бор, индий, галлий, алюминий) с элементами V группы (азот, фосфор, сурьма, мышьяк).

Применяют для изготовления светодиодов, туннельных диодов, транзисторов, солнечных батарей, датчиков Холла, оптических фильтров и термоэлектрических генераторов, тензометров и др. приборов;

2) Полупроводниковые соединения типа $A^{II}B^{VI}$. Они являются двойными соединениями халькогенов с металлами II группы Периодической системы химических элементов Д.И.Менделеева цинком, кадмием, ртутью. К халькогенам относят серу S, селен Se и теллур Te, а соединения с этими элементами называют (сульфиды, селениды, теллуриды) халькогенидами.

Их применяют для создания промышленных люминофоров, фоторезисторов, высокочувствительных датчиков Холла и приемников далекого инфракрасного излучения.

3) Полупроводниковые соединения типа $A^{VI}B^{VI}$ являются халькогенидами свинца. К ним относятся сульфид свинца PbS, селенид свинца PbSe и теллурид свинца PbTe.

Эти соединения являются узкозонными полупроводниками. Их используют для изготовления фоторезисторов в инфракрасной технике, инфракрасных лазеров, тензометров и термогенераторов, работающих в интервале температур от комнатной до 700 °С.

Все органические твердые полупроводниковые материалы делят на:

1) Молекулярные кристаллы представляют собой полициклические низкомолекулярные ароматические соединения. К ним относят нафталин, фталоцианин, антрацен, коронен и др.;

2) Молекулярные комплексы – полициклические низкомолекулярные соединения с электронным взаимодействием между молекулами вещества, которые обладают большей электропроводностью чем молекулярные кристаллы. К ним относят виолантрен-йод, изовиолантрен-калий;

3) Металлоорганические комплексы - низкомолекулярные вещества, молекула которых содержит в центре атом металла (фталецианин меди);

4) Полимерные полупроводники – материалы с длинными цепями сопряжения и сложным физико-химическим строением;

5) Пигменты – красители, обладающие полупроводниковыми свойствами. К полимерным пигментам относят индиго, эозин, пинацианол, радиофлавин, радамин и др. К природным пигментам относят хлорофил, каротин и др.

Органические полупроводники применяют для изготовления терморезисторов с высокой температурной стабильностью пьезо-элемента, резонансных контуров в интегральных схемах, радиационных дозиметров, детекторов инфракрасного излучения, фоторезисторов, квантовых генераторов, тензодатчиков с высокой чувствительностью.