

Тема 10

Понятие о зонной теории проводимости. Контактная разность потенциалов. Термоэлектрические явления и их применение

Оглавление

10.1. Понятие о зонной теории проводимости

10.2. Контактная разность потенциалов

10.3. Термоэлектрические явления и их применение

10.1. Понятие о зонной теории проводимости

Классическая теория проводимости, несмотря на все свои достоинства, не смогла объяснить некоторые явления, например, сверхпроводимость и удельную теплоемкость металлов.

Эти явления может объяснить зонная теория проводимости.

По этой теории уровень энергии электрона в атоме расщепляется на ряд близко расположенных подуровней (рис. 10.1, 10.2). Это объясняется взаимодействием атомов (ионов) в кристаллической решетке.

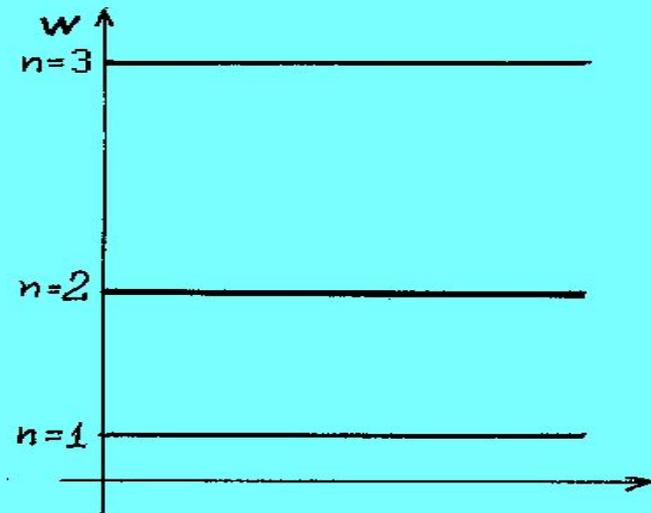


Рис. 10.1.

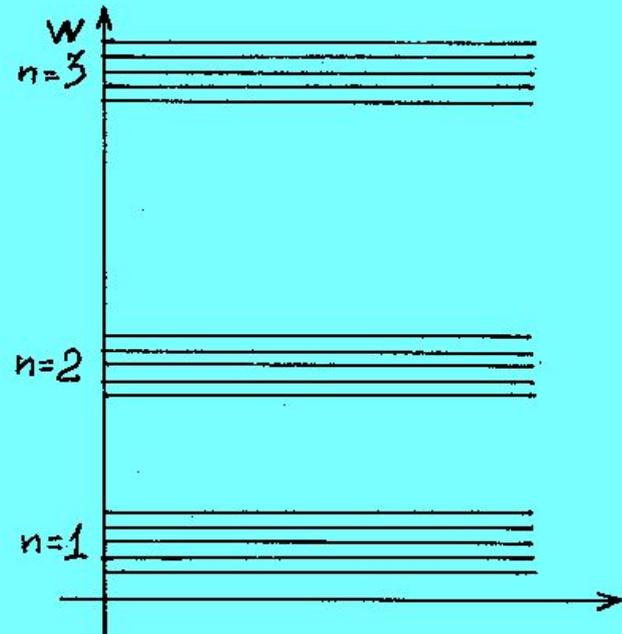


Рис. 10.2.

Электроны, находящиеся в составе атома, образуют валентную зону, свободные электроны – зону проводимости. Между валентной зоной и зоной проводимости существует запретная зона, нахождение электронов в которой запрещено (рис. 10.3).

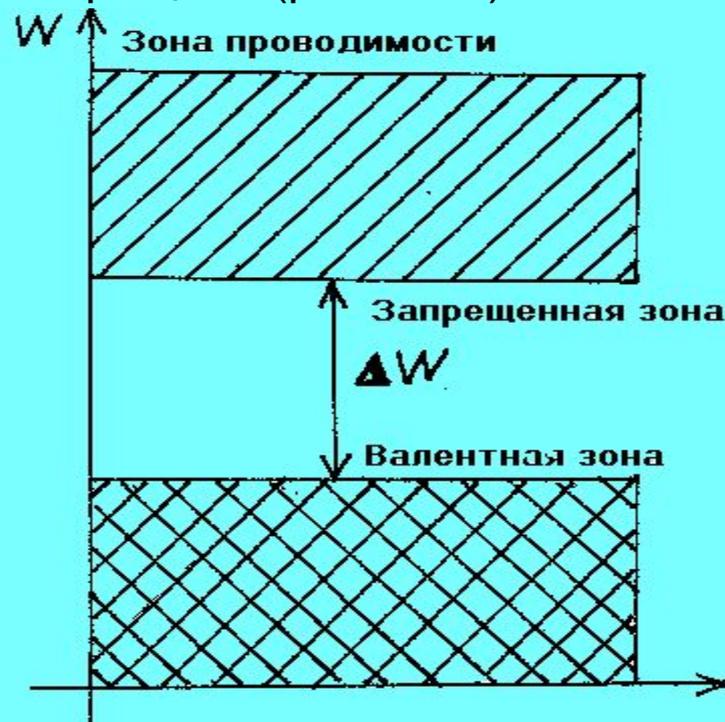


Рис. 10.3.

В зависимости от распределения электронов вещества делятся на три класса: проводники, полупроводники, диэлектрики.

Одной из важнейших характеристик микрочастиц в квантовой механике является спин (от англ. Spin – волчок). Эта характеристика не имеет аналогов в классической механике, поэтому можно говорить только о грубой аналогии. С этой точки зрения наличие спина объясняется как бы собственным вращением частицы (если ее считать шариком определенного радиуса).

Различают частицы с полуцелым ($\pm 1/2, \pm 3/2, \dots$) и целочисленным ($0, \pm 1, \pm 2, \dots$) спином. Для первого класса частиц выполняется распределение по энергиям Ферми – Дирака, поэтому их называют фермионами. Для второго класса частиц выполняется распределение по энергиям Бозе – Эйнштейна, поэтому их называют бозонами.

Электроны относятся к фермионам. Согласно распределению Ферми – Дирака, существует максимальный уровень энергии, которой могут обладать фермионы при абсолютном нуле. Это уровень Ферми W_F .

Для фермионов выполняется принцип Паули, согласно которому на одном энергетическом уровне не может быть двух частиц с одинаковыми спинами (рис. 10.4).

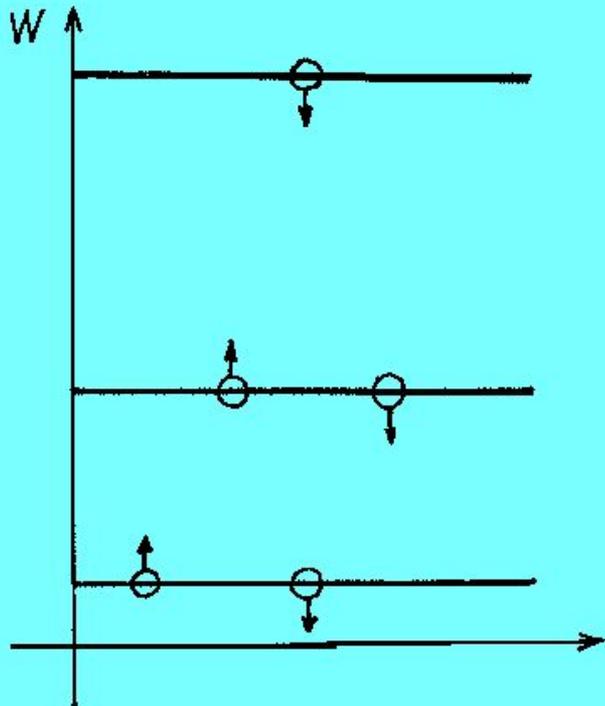


Рис. 10.4.

При данной температуре электроны в твердом теле занимают все уровни энергии, начиная с нижнего согласно принципа Паули. Известно, что при комнатной температуре превышение энергии электронов над W_F составляет доли процента. Поэтому ширина запрещенной зоны ΔW и уровень Ферми W_F полностью определяют электрические свойства твердого тела.

10.2. Контактная разность потенциалов.

Явления, которые происходят в зоне контакта двух металлов, называют контактными явлениями.

Эти явления удобно рассматривать с помощью энергетической диаграммы.

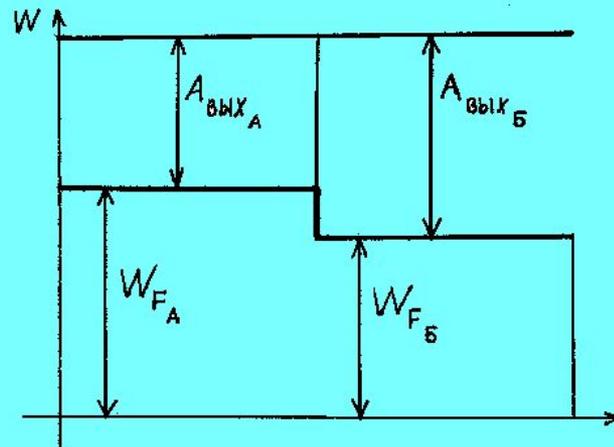


Рис. 10.5.

Электроны в металле находятся в потенциальной яме. Чтобы электрон покинул поверхность металла, необходимо совершить работу, которая называется работой выхода электрона из металла $A_{\text{вых}}$. Величина работы выхода также является одной из основных характеристик данного металла.

Внутренняя контактная разность потенциалов определяется как

$$U_i = \left(W_{F_A} - W_{F_B} \right) / e.$$

Внешняя контактная разность потенциалов определяется как

$$U_j = \left(A_{\text{ВЫХ}_A} - A_{\text{ВЫХ}_B} \right) / e.$$

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0. \quad \text{закон Вольты}$$

10.3. Термоэлектрические явления и их применение

Термоэлектрические явления — такие явления, при которых происходит появление ЭДС при изменении температуры.

1. Эффект Пельтье.

К спаю двух металлов подключали источник тока и с помощью коммутатора меняли направление тока в цепи. При этом газовый термометр фиксировал в одном случае выделение, а в другом — поглощение теплоты.

Это объясняется следующим образом. При переходе из металла с более высокой средней энергией в металл с низкой энергией электрон теряет избыточную энергию, передавая ее кристаллической решетке, при этом решетка нагревается, температура спая повышается.

При их обратном движении спай охлаждается за счет того, что кристаллическая решетка отдает избыток энергии электронам.

Тепло Пельтье определяется по формуле

$$Q_n = \pm k_n q = \pm k_n It, \text{ где } I = jS = envS.$$

Здесь e, n, v - соответственно заряд, концентрация и скорость направленного движения электронов в металле; S - площадь поперечного сечения проводника.

Т.е., чем большее количество электронов пройдет через спай, тем большее количество теплоты будет отдано спаю или взято от него.

2. Возникновение термоЭДС

Из электронной теории проводимости известно, что давление электронного газа определяется по формуле $p=nkT$, где n - концентрация электронов, T - абсолютная температура, k - постоянная Больцмана. Если на участке проводника существует перепад температур $\Delta T = T_2 - T_1$, то электроны начнут переходить из области повышенного давления P_2 в область пониженного давления P_1 (рис. 10.6). В проводнике возникает ток противоположного направления.

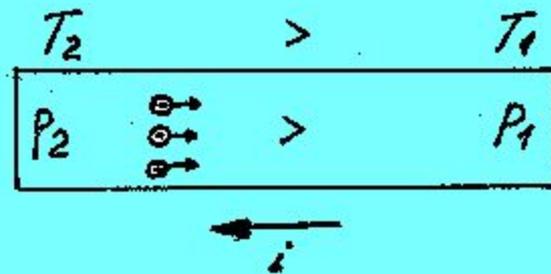


Рис. 10.6.

Применение термоэлектрических явлений

Термоэлектрические явления применяют в различных областях науки и техники. На этом принципе основано действие термопары, прибора для измерения температуры спаев по величине термоЭДС, возникающей при нагревании. Т. к. $E_{терм} = f(T_1, T_2)$, то для градуировки термопары необходимо термостатировать один из спаев, например $T_2, T_2 = const$ и $E_{терм} = f(T)$. Обычно в качестве термостата используется тающий лед. Выбор пары металлов определяется тем температурным диапазоном, в котором осуществляются измерения. Также применяют термобатареи, принцип действия которых аналогичен термопаре. Величина термоЭДС, создаваемой термопарой, прямопропорциональна разности температур спаев, т.е.

$$E_{терм} = \alpha(T_2 - T_1) = \alpha\Delta T,$$

Где $\alpha = \frac{E_{терм}}{\Delta T}$ — постоянная термопары.

Постоянная термопары — это физическая величина, численно равная термоЭДС, возникающей при изменении разности температур спаев на 1 градус, где α зависит от рода контактирующих веществ.

Эффект Пельтье используется при создании холодильных машин.

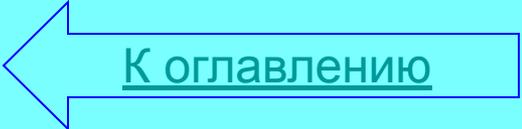
Термоэлектрические явления в твердых телах находят применение в различных областях техники. Эффект Зеебека (термо-ЭДС) используется для преобразования тепловой энергии в электрическую. Перенос тепла электрическим током (эффект Пельтье) лежит, в основе действия твердотельных охлаждающих и термостатирующих устройств.

Термоэлектрические преобразователи энергии обладают уникальными сочетаниями конструктивных и эксплуатационных характеристик, таких как, отсутствие движущихся деталей, рабочих жидкостей и газов, высокая надежность, возможность эксплуатации в течение нескольких лет без обслуживания или при минимальном периодическом обслуживании и др. Эти достоинства определяют многообразие использования термогенераторов в качестве источников электропитания, главным образом для автономных систем — в космосе, в труднодоступных районах суши и моря, для имплантируемых кардиостимуляторов и т. п. Термоэлектрические холодильники и термостаты применяются в приборостроении, СВЧ-электронике, ИК-технике, медицине, биологии, бытовой технике. Широк также спектр применения термоэлектрических приборов в измерительной технике, термометрии, калориметрии, пирометрии, электроизмерениях и т. д.

Многие задачи, которые практика ставит перед разработчиками термоэлектрических устройств, могут быть успешно решены с применением пленочных термоэлементов (ПТЭ) и пленочных термобатарей (ПТБ). Очевидное достоинство ПТБ — возможность принципиально увеличить число элементов при сохранении объема преобразователя, а при необходимости — создавать микроминиатюрные устройства. На основе ПТБ могут быть изготовлены малогабаритные источники питания, слаботочные микрохолодильники и термостаты, высокочувствительные и достаточно малоинерционные датчики температуры и теплового потока и т. п. Вакуумная технология существенно упрощает процесс сборки и сокращает длительность изготовления термобатарей, позволяет сочетать в единой конструкции и изготавливать в едином технологическом цикле элементы и схемы радио- и оптоэлектроники с термоэлектрическими устройствами. ПТЭ и ПТБ уже довольно давно и успешно используются в термометрии, пирометрии и актинометрии, однако до недавнего времени эффективность преобразования энергии в пленочных батареях существенно (на порядки) уступала уровню эффективности, достигнутому в объемных преобразователях.

В 70-е годы в результате интенсивных физических и технологических исследований, конструкторских разработок были достигнуты значительные успехи в области пленочных термоэлектрических преобразователей. К настоящему времени доказана принципиальная возможность создания ПТБ с энергетическими характеристиками, близкими к характеристикам объемных, разработана технология массового их изготовления, создан ряд приборов на их основе. Новые термоэлектрические датчики температуры и лучистого потока обладают на порядок более высокой чувствительностью, чем описанные в [2]. Уже нашли применение в технике миниатюрные пленочные термогенераторы. Вполне реальным: стало использование в недалеком будущем слаботочных микрохолодильников.

Успехи, достигнутые в создании высокоэффективных ПТЭ и ПТБ, несомненно приведут к широкому их техническому применению, что в свою очередь потребует дальнейшего развития физических и технологических исследований, расширения фронта конструкторских разработок. В этой связи представляется необходимым и своевременным систематизировать результаты предыдущих исследований, обобщить накопленный за последнее десятилетие опыт, обсудить специфические проблемы построения ПТЭ, перспективные направления и методы физических исследований эффективность тех или иных технологических приемов, конструктивных решений...



[К оглавлению](#)