

частиц, наличие внешних электрических и магнитных полей и др. Полученная в процессе такого изучения новая информация окажет неоценимую помощь при разработке многих проблем физики твердого тела.

ГЛАВА 7

ОСНОВЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

7.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПО ВЕЛИЧИНЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

В главе 2 мы отмечали, что в основу классификации твердых тел могут быть положены различные признаки. По величине удельной электропроводности все твердые тела можно разделить на три большие группы: *металлы*, *диэлектрики* и *полупроводники*. Металлы являются прекрасными проводниками электрического тока. Их удельная электропроводность при комнатной температуре колеблется от 10^4 до $10^8 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Диэлектрики, наоборот, практически не проводят ток и используются как изоляторы. Электропроводность (σ) этой группы веществ меньше, чем $10^{-10} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Твердые тела, имеющие промежуточные значения σ , т. е. $10^4 \div 10^{-10} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, относятся к классу полупроводников. Из рис. 7.1 видно, что электропроводность различных веществ колеблется в очень широких пределах. Более того, одно и то же твердое тело в зависимости от содержания примесей или дефектов в нем может иметь различную проводимость. Так, например, электропроводность кристаллического кремния изменяется от 10^3 до $10^{-5} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$, а σ полупроводника CdS заключена в интервале $10^3 \div 10^{-12} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Последний пример, в частности, показывает, что при переходе от одной группы веществ к другой значения электропроводности могут перекрываться, поэтому классификация твердых тел по величине электропроводности не является совершенно однозначной. Различие между металлами, с одной стороны, и диэлектриками и полупроводниками — с другой — проявляется достаточно

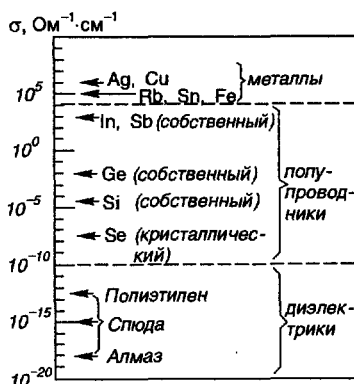


Рис. 7.1. Интервал изменения удельной электропроводности при комнатной температуре для различных твердых тел

четко в ходе температурных зависимостей электропроводности. Для полупроводников и диэлектриков эта зависимость (в некотором интервале температур) описывается выражением вида

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_B T}\right), \quad (7.1)$$

т. е. возрастает с температурой по экспоненциальному закону. В то же время в металлах электропроводность уменьшается с ростом температуры:

$$\sigma = \sigma_{01} \frac{T_0}{T}. \quad (7.2)$$

В выражениях (7.1) и (7.2) σ_0 , σ_{01} , T_0 — некоторые константы. При термодинамических температурах, близких к абсолютному нулю, электропроводность многих металлов перестает изменяться и имеет некоторое конечное значение. У некоторых металлов возникает сверхпроводящее состояние. Диэлектрики и полупроводники характеризуются тем, что их электропроводность при $T \rightarrow 0$ К обращается в нуль.

Рассмотренная нами в предыдущей главе модель свободных электронов, предложенная Друде и усовершенствованная Лорентцем, и, в особенности, модель Зоммерфельда, учитывающая квантовый характер электронного газа, достаточно хорошо объясняют ряд свойств металлов. Однако ни та, ни другая не дают ответа на вопрос: почему проводимость различных твердых тел изменяется в столь широких пределах? Почему одни вещества являются хорошими проводниками электрического тока, а другие — диэлектриками? Почему в некоторых твердых телах при низких термодинамических температурах возникает сверхпроводимость?

Отсутствие ответа на поставленные вопросы связано, очевидно, с теми чрезмерными упрощениями, которые положены в основу модели свободных электронов. Основными из них являются:

1) приближение свободных электронов, состоящее в том, что не учитывается влияние положительно заряженных ионов на движение электронов в промежутках между столкновениями;

2) приближение независимых электронов, предполагающее, что отсутствует взаимодействие электронов между собой.

Основной источник трудностей, с которыми сталкиваются теории Друде — Лорентца и Зоммерфельда, связан с приближением свободных электронов. Учет взаимодействия электронов с кристаллической решеткой и между собой делается в зонной теории твердых тел, основы которой будут рассмотрены ниже.