

ского потенциала. Однако сам факт существования этих уровней не вызывает сомнения (какова бы ни была функция $V(x)$).

Плотность поверхностных уровней в трехмерном кристалле определяется числом одномерных цепочек атомов, выходящих на единицу площади поверхности. Она достигает величины $10^{15} \div 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Кроме рассмотренных нами уровней, называемых *уровнями Тамма*, существуют поверхностные состояния, связанные с дефектами, выходящими на поверхность, адсорбированными примесными атомами и т. п. Их концентрация зависит от условий обработки поверхности.

ГЛАВА 8

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

8.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Металлы обладают многими замечательными свойствами. Высокая пластичность и прочность позволяют применять их как конструкционные материалы. Уникальные магнитные свойства металлов используются при создании различных магнитных элементов. Однако в настоящей главе нас будут интересовать, в первую очередь, их электрические свойства. Прежде чем обсуждать различные теоретические модели, их достоинства и недостатки, полезно напомнить, что об этих свойствах известно из эксперимента.

Электропроводность. Выше, в главах 6 и 7, мы уже отмечали, что наиболее характерным свойством металлов является их высокая электропроводность. В таблице 8.1 приведены значе-

Таблица 8.1. Электропроводность некоторых металлов

Металл	Электропроводность, $\text{Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	
	$T=77 \text{ К}$	$T=273 \text{ К}$
Li	$9,61 \cdot 10^5$	$1,17 \cdot 10^5$
Na	$1,25 \cdot 10^6$	$2,38 \cdot 10^5$
K	$7,25 \cdot 10^5$	$1,64 \cdot 10^5$
Rb	$4,55 \cdot 10^5$	$9,10 \cdot 10^4$
Cs	$2,22 \cdot 10^5$	$5,31 \cdot 10^4$
Cu	$5,0 \cdot 10^6$	$6,41 \cdot 10^5$
Ag	$3,33 \cdot 10^6$	$6,62 \cdot 10^5$
Au	$2,0 \cdot 10^6$	$4,90 \cdot 10^5$
Nb	$3,33 \cdot 10^5$	$6,58 \cdot 10^4$
Fe	$1,52 \cdot 10^6$	$1,12 \cdot 10^5$
Zn	$9,09 \cdot 10^5$	$1,82 \cdot 10^5$
Cd	$6,25 \cdot 10^5$	$1,47 \cdot 10^5$
Al	$3,33 \cdot 10^6$	$4,08 \cdot 10^5$
Pb	$2,12 \cdot 10^5$	$5,26 \cdot 10^4$

ния электропроводности σ ряда металлов для двух температур.

Видно, что при температурах, близких к комнатной, электропроводность большинства металлов находится в пределах 10^4 — 10^6 Ом $^{-1}$ см $^{-1}$.

Температурная зависимость электропроводности. Данные таблицы 8.1 свидетельствуют также о том, что электропроводность металлов сильно зависит от температуры. В экспериментах чаще строят температурные зависимости не электропроводности, а величины, обратной σ , называемой, как известно, удельным сопротивлением $\rho = \frac{1}{\sigma}$. Примерный вид такой зависимости для металла показан на рис. 8.1.

В области высоких температур удельное сопротивление растет линейно с температурой. Вблизи абсолютного нуля оно перестает зависеть от T и кривая $\rho(T)$ идет параллельно оси температур.

Влияние примесей и дефектов. Удельное сопротивление, не зависящее от температуры, часто называют *остаточным*. Величина этого остаточного сопротивления определяется примесями и дефектами, содержащимися в металле. Вклад, вносимый в удельное сопротивление металла примесями и дефектами, одинаков для всех температур

$$\rho(T) = \rho_{\text{пр}} + \rho_{\text{чист}}(T), \quad (8.1)$$

где $\rho_{\text{пр}}$ — остаточное удельное сопротивление, $\rho_{\text{чист}}$ — удельное сопротивление чистого металла.

Соотношение (8.1) показывает, что компонента удельного сопротивления, зависящая от температуры и не зависящая от чистоты металла, и компонента, не меняющаяся с температурой, но зависящая от содержания примесей и структурного совершенства кристалла, складываются. Это соотношение известно экспериментаторам как *правило Матиссена* об аддитивности удельного сопротивления.

Закон Ома. В металлах хорошо выполняется закон Ома

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}.$$

где, как и ранее, \vec{j} — плотность тока, \vec{E} — напряженность электрического поля.

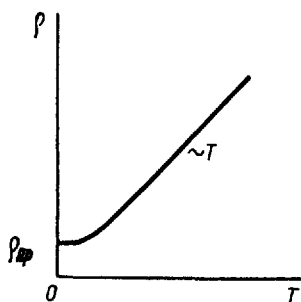


Рис. 8.1. Температурная зависимость удельного сопротивления металла

Закон Видемана—Франца. Как уже обсуждалось в гл. 6, для металлов выполняется закон Видемана—Франца

$$\frac{\kappa}{\sigma T} = L,$$

где L — число Лоренца.

Гальвано-магнитные эффекты. Если металл, по которому течет электрический ток, поместить в магнитное поле, то в нем возникают различные эффекты, получившие название гальвано-магнитных. К ним относятся, например, эффекты Холла и магнитосопротивления.

Сверхпроводимость. Удельное сопротивление многих металлов при понижении температуры и достижении ею некоторого критического значения $T_{кр}$ резко обращается в нуль. Это явление, получившее название сверхпроводимости, наблюдается примерно у половины металлических элементов и в большом числе металлических сплавов.

8.2. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Многие из упомянутых выше свойств металлов, в том числе их высокую электропроводность, закон Ома, закон Видемана—Франца и ряд других объясняла классическая теория свободных электронов Друде. И хотя эта теория, как отмечалось в гл. 6, 7, была полностью неспособна объяснить температурное поведение теплоемкости металлов, явление сверхпроводимости, сам факт существования диэлектриков и полупроводников, а также многие другие свойства, она до сих пор часто используется для различных оценок. Полезно напомнить основные положения теории Друде, чтобы лучше понять ее недостатки и как эти недостатки устраняются в зонной теории твердых тел.

К основным предположениям теории Друде относятся:

1) считается, что каждый атом отдает в «общее пользование» не менее одного электрона. В промежутках между столкновениями электроны не взаимодействуют с положительно заряженными атомными остатками, расположенными в узлах решетки (приближение свободных электронов). Не учитывается взаимодействие электронов между собой (приближение независимых электронов);

2) считается, что в интервале между столкновениями при отсутствии внешних электромагнитных полей каждый электрон движется по прямолинейной траектории с постоянной скоростью. Под действием внешних полей электрон движется в соответствии с законами Ньютона (при этом влияние внутреннего поля, создаваемого ионами и другими электронами, не учитывается);

3) время от времени электроны испытывают столкновения.