

деления. Однако это уравнение является трансцендентным, и поэтому для его решения приходится либо пользоваться либо численными методами, либо исследовать различные частные случаи, к которым мы и обратимся.

§ 14. Уровень Ферми в собственном полупроводнике

Для собственного полупроводника $p_i, n_i \ll n, p$ и условие нейтральности принимает вид $n = p$. Если ширина запрещенной зоны полупроводника достаточно велика, так что она охватывает много kT , и если эффективные массы электронов и дырок m_n и m_p одного порядка, то уровень Ферми будет достаточно удален от краев зон и полупроводник будет невырожденным. Поэтому, пользуясь для n и p выражениями (5.1) и (5.2), имеем

$$N_c \exp \frac{F - E_c}{kT} = N_v \exp \frac{E_v - F}{kT}.$$

Это дает

$$F = E_i - \frac{1}{2} kT \ln \frac{N_c}{N_v} = E_i - \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_n}{m_p}, \quad (14.1)$$

где через $E_i = \frac{1}{2} (E_v + E_c)$ обозначена энергия середины запрещенной зоны.

Эта зависимость показана схематически на рис. 5.9. Там же отмечены края зон E_v и E_c и учтено, что ширина запрещенной зоны $E_g = E_c - E_v$ сама изменяется с температурой. При $T = 0$ уровень Ферми располагается точно в середине запрещенной зоны. При повышении температуры он удаляется от зоны более тяжелых носителей заряда и приближается к зоне более легких.

Для полупроводников с узкой запрещенной зоной (HgSe, HgTe, серое олово и др.) даже при комнатной температуре приходится уже учитывать вырождение, и поэтому для n и p нужно брать общие выражения (4.4) и (4.6).

Из выражения (14.1) и рис. 5.9 видно, что если m_n и m_p весьма различны, то при повышении температуры уровень Ферми может приблизиться к зоне легких носителей на расстояние порядка kT и даже оказаться внутри этой зоны. Поэтому такие полупроводники при нагревании могут стать вырожденными. Этот случай мы имеем, например, в InSb, где $m_n \ll m_p$. При этом оказывается, что уровень Ферми попадает в зону проводимости при температурах $T \gtrsim 440$ К.

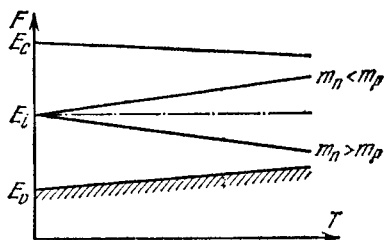


Рис. 5.9. Зависимость положения уровня Ферми от температуры в собственном полупроводнике (схематически).