

мест) какой-либо из электронов связи может перейти в одну из этих вакансий. В результате на месте вакансии будет восстановлена нормальная ковалентная связь, но зато появится вакансия в другом месте. На эту вакансию в свою очередь может перейти какой-либо другой из электронов связи и т. д. При этом, разумеется, возможны переходы электронов связи во всех направлениях. Однако переходы в направлении действующей силы (против поля) будут преимущественными, и поэтому возникнет некоторый дополнительный ток j_p , обусловленный перемещением электронов связи. Сами же вакансии будут перемещаться в направлении поля, т. е. так, как двигались бы положительно заряженные частицы. Этот второй механизм электропроводности и есть процесс дырочной проводимости. Сами же вакантные квантовые состояния электронов, локализованные у нарушенных ковалентных связей и способные перемещаться под действием поля, суть положительные дырки. Из сказанного ясно, что в беспримесном полупроводнике концентрация дырок p всегда равна концентрации электронов проводимости n . В гл. IV будет показано, что именно для дырок (а не для электронов связи) получаются простые уравнения движения, аналогичные уравнениям движения положительно заряженных частиц в классической механике, чем и оправдывается введение этого понятия.

Эти представления о механизме дырочной проводимости, рассмотренные нами качественно на примере полупроводников подгруппы IVB, справедливы для полупроводников любого типа.

§ 7. Полупроводниковые свойства и химическая связь

Из сказанного выше следует, что ширина запрещенной зоны E_g непосредственно зависит от прочности химических связей. К сожалению, эта последняя не может быть прямо измерена количественно. Однако она связана с другими физическими характеристиками вещества, допускающими непосредственное измерение, и поэтому можно ожидать, что между этими характеристиками и величиной E_g для кристаллов с одинаковой структурой должна существовать определенная связь.

В качестве величины, характеризующей прочность связей, некоторые исследователи выбирали теплоту образования кристалла Q . При этом оказывается, что между E_g и Q действительно обнаруживается определенная корреляция: как правило, E_g увеличивается при увеличении Q .

Аналогичные зависимости имеются также для подвижности электронов. Так, например, в ряду веществ с одинаковой кристаллографической структурой подвижность μ_n закономерно изменяется с изменением теплоты образования по закону

$$\mu_n = cQ^{-n},$$

где s и n — постоянные, зависящие от типа кристаллической структуры. На рис. 2.17 показана такая зависимость для ряда двойных соединений со структурой NaCl *). Подобная зависимость имеет место и для двойных соединений с другими структурами.

В кристаллах двойных соединений элементов II и VI групп $A^{II}B^{VI}$, имеющих одинаковую кристаллическую структуру (ZnS, ZnTe, HgTe и др.), наблюдается четкая зависимость E_g от среднего порядкового номера элементов $Z = \frac{1}{2}(Z_A + Z_B)$: E_g уменьшается при увеличении Z .

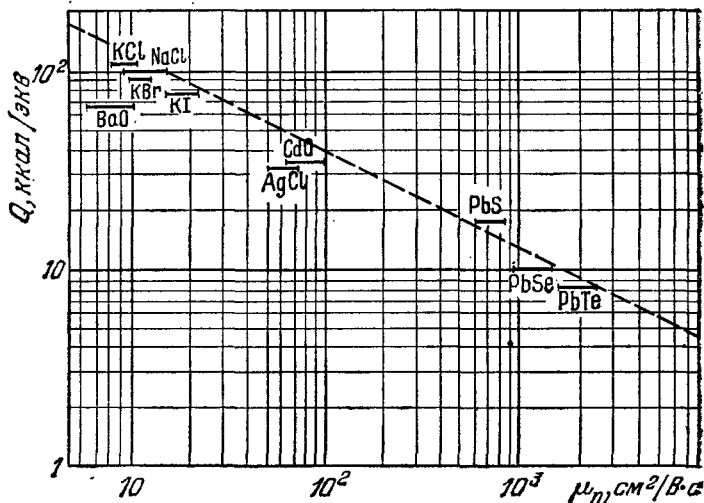


Рис. 2.17. Зависимость подвижности электронов от теплоты образования кристалла для двойных соединений со структурой NaCl.

Существуют также зависимости E_g и μ от других макроскопических величин, отражающих характер химических связей. Хотя такие закономерности носят полуэмпирический характер, они тем не менее представляют большой интерес, так как, во-первых, являются хорошим подтверждением правильности общих представлений о тесной зависимости между типом химической связи и полупроводниковыми свойствами и, во-вторых, могут быть полезны для суждения об электрических свойствах новых полупроводниковых материалов.

§ 8. Полупроводники с малой подвижностью

В различных полупроводниках движение электронов может иметь весьма различный характер. Для разъяснения этого обстоятельства оценим величину средней длины свободного пробега элек-

*) Из работы В. П. Жузе, ЖТФ 25, 2079 (1955).