**Полупроводники** — это вещества, удельное со­противление которых убывает с повышением темпе­ратуры, наличия примесей, изменения освещен­ности. По этим свойствам они разительно отличают­ся от металлов. Обычно к полупроводникам относят­ся кристаллы, в которых для освобождения электро­на требуется энергия не более 1,5 — 2 эВ. Типичны­ми полупроводниками являются кристаллы герма­ния и кремния, в которых атомы объединены ковалентной связью. Природа этой связи позволяет объ­яснить указанные выше характерные свойства. При нагревании полупроводников их атомы ионизируют­ся. Освободившиеся электроны не могут быть захва­чены соседними атомами, так как все их валентные связи насыщены. Свободные электроны под действи­ем внешнего электрического поля могут перемещать­ся в кристалле, создавая ток проводимости. Удаление электрона с внешней оболочки одного из атомов в кристаллической решетке приводит к образованию положительного иона. Этот ион может нейтрализо­ваться, захватив электрон. Далее, в результате пере-­ ходов от атомов к положительным ионам происходит процесс хаотического перемещения в кристалле мес­та с недостающим электроном. Внешне этот процесс хаотического перемещения воспринимается как пе­ремещение положительного заряда, называемого «дыркой». При помещении кристалла в электриче­ское поле возникает упорядоченное движение «ды­рок» — ток дырочной проводимости. В идеальном кристалле ток создается равным количеством электронов и «дырок». Такой тип про­водимости называют собственной проводимостью полупроводников. При повышении температуры (или освещенности) собственная проводимость проводни­ков увеличивается. На проводимость полупроводников большое влияние оказывают примеси. Примеси бывают до-норные и акцепторные.

**Донорная примесь** — это примесь с большей валентностью. При добавлении донорной примеси в полупроводнике образуются лишние электроны. Проводимость станет электрон­ной, а полупроводник называют полупроводником n-типа. Например, для кремния с валентностью п = 4 донорной примесью является мышьяк с валент­ностью п = 5. Каждый атом примеси мышьяка при­ведет к образованию одного электрона проводимости.

**Акцепторная примесь** — это примесь с мень­шей валентностью. При добавлении такой примеси в полупроводнике образуется лишнее количество «ды­рок». Проводимость будет «дырочной», а полупро­водник называют полупроводником          p-типа. Напри­мер, для кремния акцепторной примесью является индий с валентностью   n = 3. Каждый атом индия приведет к образованию лишней «дырки».

Донорные и акцепторные уровни располагаются на небольшом расстоянии от своих зон. Поэтому их называют мелкими уровнями. Уровни, располагающиеся вблизи энергетических зон и энергично обменивающиеся с этими зонами носителями заряда, называют также уровнями прилипания. Относительно глубоких донорных и акцепторных уровней можно предположить, что среди создающих их кристаллических дефектов нет дефектов, образующих парные заряды ( электроны и дырки), например, кислородных дефектов и Si в междуузлиях решетки. Правда, полностью объяснить распределение, приведенное на рис. 4.24, на основе модели возникновения уровней за счет кулоновского потенциала ( Гетцбер-гер, 1968 г.) невозможно. Сугано ( 1980 г.) произвели теоретические расчеты для случая идеальной решетки Si - Si02 с несколько удлиненными по сравнению с обычными связями Si-О и Si-Si, используя приближение жестких связей, и вычислили уровни в верхней и нижней части запрещенной зоны и уровни Si -, образованные вблизи середины запрещенной зоны.

**Зависимость удельной проводимости от температуры**. Полупроводники по удельному сопротивлению, которое при комнатной температуре составляет 10-6–109 Ом×м, занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Они обладают совокупностью физических свойств, которые выделяют их среди других материалов. В отличие от проводников электропроводность полупроводников увеличивается с ростом температуры (рис. 4.1). Для полупроводников характерна зависимость значения удельной проводимости от вида и количества содержащихся в них примесей. Например, при введении в чистый кремний 0,001 % фосфора его удельная проводимость увеличивается в 105 раз.

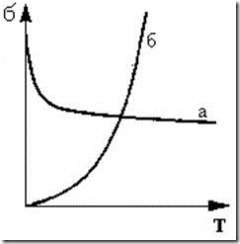


Рис. 4.1. Зависимость удельной проводимости от температуры для металлов (а) и полупроводников (б)