

1) Возбуждение кристалла вызывает перевод электронов из валентной зоны в зону проводимости. Рекомбинация происходит в несколько этапов с участием энергетических уровней дефектов. Некоторые из этих этапов протекают излучательным образом, некоторые — безызлучательно. Это — тема данного параграфа.

2) Возбуждение и релаксация в основное состояние происходит *снаружи* дефекта. К этому мы вернемся позднее.

Начнем с общего обсуждения кинетики процессов рекомбинации. При этом сначала забудем о вопросе, происходит ли переход излучательным образом или безызлучательно.

Без участия дефектов единственными возможными процессами рекомбинации являются переходы электронов из зоны проводимости

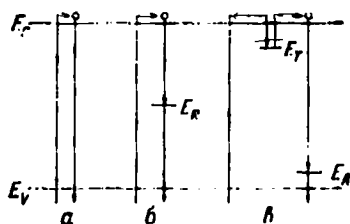


Рис. 28. Электронные переходы между валентной зоной и зоной проводимости: а — междуполосные переходы, б — участие центров рекомбинации, в — переходы в ловушки и активаторы

в валентную зону (рис. 28, а). Пусть концентрации электронов и дырок будут n и p соответственно. Закон рекомбинации тогда гласит:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dp}{dt} = G - r(np - n_{eq}p_{eq}). \quad (2.82)$$

Здесь G — число электронно-дырочных пар, генерированных внешним воздействием в единицу времени. Второй член в правой части описывает рекомбинацию, которая пропорциональна концентрациям электронов и дырок. Третий член учитывает тот факт, что электронно-дырочные пары будут генерироваться в любом случае тепловым возбуждением — число их не зависит от концентраций n и p — и что в равновесном состоянии ($G = 0$, $n = n_{eq}$, $p = p_{eq}$) термическая генерация электронно-дырочных пар в точности уравновешивает рекомбинацию.

Для малых отклонений от равновесных концентраций ($n = n_{eq} + \delta n$, $p = p_{eq} + \delta p$, $\delta n \ll n_{eq}$, p_{eq}) (2.82) приводится к виду

$$\frac{d}{dt} \delta n = G - r(n_{eq} + p_{eq}) \delta n \equiv G - \frac{\delta n}{\tau}. \quad (2.83)$$

Это определяет время жизни τ пары электрон — дырка. В стационарном состоянии ($dn/dt = 0$) оно связано с избыточной концентрацией δn соотношением $\delta n = G\tau$, а когда внешнее возбуждение устранивается ($G = 0$), оно ведет к экспоненциальному закону затухания $\delta n \propto \exp(-t/\tau)$.