

§ 20. Процессы рекомбинации на дефектах кристаллической решетки

Теперь мы рассмотрим, как дефекты кристаллической решетки влияют на оптические процессы в твердых телах. При обсуждении электрон-фотонного взаимодействия в гл. IX второй части книги мы ограничили себя процессами поглощения, в которых поглощение фотона приводит к совершению электроном перехода из валентной зоны в зону проводимости в полупроводнике. Обратный процесс падения электрона назад в валентную зону не рассматривался.

В общепринятой модели полупроводника процесс поглощения означает образование пары электрон — дырка. Соответственно, обратный процесс известен как *рекомбинация* электронно-дырочной пары. При междуполупроводниковой рекомбинации фотон испускается снова (*излучательная рекомбинация*). Однако возможна также и *безызлучательная рекомбинация*, т. е. переходы с передачей энергии рекомбинации другому электрону (*ожг-рекомбинация*) или с передачей энергии решетке посредством многофононных процессов.

В любом процессе рекомбинации должны быть выполнены законы сохранения энергии и импульса. Вместе с вероятностью перехода, эти законы определяют «время жизни» возбужденной электронно-дырочной пары. Вероятность перехода может быть значительно выше, если рекомбинация происходит как двухступенчатый процесс через дефект структуры кристалла (*центр рекомбинации*). Электрон сначала захватывается дефектом, а затем высвобождается в валентную зону. В противоположность рассматривавшимся до сих пор донорам и акцепторам, центры рекомбинации должны поэтому иметь достаточно большие эффективные сечения для процессов взаимодействия как с зоной проводимости, так и с валентной зоной.

Процессы рекомбинации важны по двум причинам: возбужденное состояние характеризуется существованием свободно перемещающихся носителей зарядов. Следовательно, это связано с появлением *фотопроводимости*. Рекомбинация определяет величину и временной режим фотопроводимости в твердом теле. Многочисленные явления в физике полупроводников описываются через время жизни возбужденных электронно-дырочных пар и их рекомбинацию.

Вторая важная область, *люминесценция*, имеет дело с процессами излучательной рекомбинации. Если испускание фотона происходит непосредственно после поглощения, т. е. в пределах времен, соответствующих времени жизни возбужденного состояния, говорят о *флуоресценции*. Если рекомбинация запаздывает (за счет механизмов, которые нам еще следует обсудить), говорят о *фосфоресценции*.

В люминесценции, т. е. испускании света за счет рекомбинации возбужденных состояний в кристалле, различаем два предельных случая.