

Институт Кристаллографии Академии Наук СССР, Москва
О влиянии гидростатического давления на фотопроводимость
полупроводников

В.М. ФРИДКИН и Н.А. ТИХОМИРОВА

V.M. Fridkin N.A. Tikhomirova

Влияние высокого гидростатического давления на фотопроводимость полупроводника (или диэлектрика) может быть обусловлено изменением времени жизни или подвижности неравновесных носителей. Согласно (1, 2) для монокристаллов серы и сернистого кадмия изменение подвижности электронов с давлением не вносит существенного вклада в зависимость фототока от давления. Ниже мы покажем, что на основе простой феноменологической модели РОУЗА (3) может быть получена зависимость времени жизни неравновесных носителей от давления.

Здесь мы рассмотрим частный случай, когда два уровня рекомбинации, электронный с энергией активации E_{r1} , и дырочный с энергией активации E_{r2} , расположены вблизи соответствующих демаркационных уровней с энергиями соответственно E_{dp} и E_{dn} . Согласно (3) выражения для времени жизни электронов τ_n и дырок τ_p в этом случае имеют вид:

$$\tau_n = \tau_{n0} \exp\left(\frac{E_{dp} - E_{r1}}{kT}\right), \quad (1)$$

$$\tau_p = \tau_{p0} \exp\left(\frac{E_{dn} - E_{r2}}{kT}\right). \quad (1')$$

Если концентрации электронных и дырочных уровней рекомбинации равны, то $E_{dn} = E_{fn}$ и $E_{dp} = E_{fp}$, где E_{fn} и E_{fp} энергии квазиуровней Ферми соответственно для электронов и дырок. Соотношения (1) и (1') должны быть дополнены выражениями, связывающими концентрации n и p свободных электронов и дырок с положением соответствующих квазиуровней Ферми:

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_{fn}}{kT}\right) = f\tau_n, \quad \frac{\partial \ln \tau_n}{\partial P} = -\frac{1}{kT} \frac{\partial E_{fn}}{\partial P}, \quad (2)$$

$$p = N_v \exp\left(-\frac{E_{fp}}{kT}\right) = f\tau_p, \quad \frac{\partial \ln \tau_p}{\partial P} = -\frac{1}{kT} \frac{\partial E_{fp}}{\partial P}. \quad (2')$$

Здесь f возбуждение, P давление, причем эффективные плотности состояний N_c и N_v по предположению не зависят от давления P . Изменение ширины запрещенной зоны E_g с давлением может привести к изменению расстояния между демаркационными уровнями (или квазиуровнями Ферми) и уровнями рекомбинации и, следовательно, к изменению времени жизни носителей. При этом согласно (1) и (2), а также (1') и (2') должны быть всегда выполнены соотношения:

$$\frac{\partial E_{fn}}{\partial P} + \frac{\partial E_{dp}}{\partial P} = \frac{\partial E_{r1}}{\partial P}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial E_{fp}}{\partial P} + \frac{\partial E_{dn}}{\partial P} = \frac{\partial E_{r2}}{\partial P}. \quad (3')$$

Согласно (3) энергии квази-уровня Ферми и демаркационного уровня связаны следующими соотношениями:

$$E_{dn} = E_{fp} - kT \ln \left(\frac{s_p}{s_n} \right) - \frac{3}{2} kT \ln \left(\frac{m_p}{m_n} \right), \quad (4)$$

$$E_{dp} = E_{fn} + kT \ln \left(\frac{s_p}{s_n} \right) - \frac{3}{2} kT \ln \left(\frac{m_p}{m_n} \right), \quad (4')$$

где сечения рекомбинации дырок s_p и электронов s_n , а также эффективные массы дырок m_p и электронов m_n по предположению не зависят от давления. Из (4) и (4') находим, что

$$\frac{\partial E_{fn}}{\partial P} = \frac{\partial E_{dp}}{\partial P} \quad \text{и} \quad \frac{\partial E_{fp}}{\partial P} = \frac{\partial E_{dn}}{\partial P}.$$

Подставляя эти соотношения в (3) и (3') и принимая, что

$$\frac{\partial E_{r1}}{\partial P} \approx \frac{\partial E_{r2}}{\partial P} \approx \frac{\partial E_g}{\partial P},$$

преобразуем (2) к следующему окончательному виду:

$$\frac{\partial \ln \sigma_n}{\partial P} = \frac{\partial \ln \tau_n}{\partial P} = - \frac{1}{2kT} \frac{\partial E_g}{\partial P}, \quad (5)$$

где σ_n фотопроводимость, обусловленная электронами. Аналогичное выражение может быть написано для дырок.