

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ГОРЯЧЕЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОДНООСНО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ GaAs

Б.П. Захарченя, Д.Н. Мирлин, Д.Г. Поляков, В.Ф. Сапега

Обнаружено уменьшение степени поляризации рекомбинационного излучения одноосно-деформированных кристаллов GaAs при увеличении энергии электронов. Эффект связан с ростом относительного вклада в рекомбинацию электронов проводимости с орбитальным моментом, равным 2.

Рекомбинационное излучение неориентированных электронов в кристаллах A_3B_5 в отсутствие внешних полей неполяризовано. При одноосном сжатии возникает линейная поляриза-

ция. Эффект связан, в основном, со снятием вырождения в спектре дырок. Степень поляризации ρ краевой люминесценции при наблюдении поперек оси сжатия составляет $0,6$. В настоящей работе обнаружена зависимость величины ρ в кристаллах GaAs от энергии рекомбинирующих электронов ϵ . Значение $\rho = 0,6$ наблюдалось только при рекомбинации электронов из самого дна зоны проводимости ($\epsilon = 0$). С ростом же энергии степень поляризации падала — см. рис. 1.

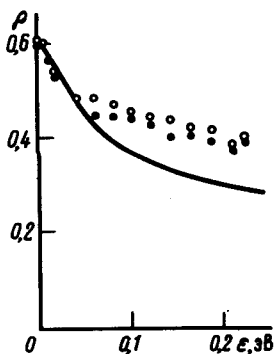


Рис. 1

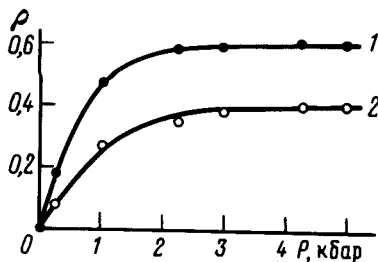


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость степени линейной поляризации ρ для переходов зона проводимости — акцептор от энергии рекомбинирующих электронов при одноосной деформации кристалла p -GaAs(Zn) вдоль осей $[\bar{1}11]$ (\bullet) и $[\bar{1}12]$ (\circ). $P = 4$ кбар, $T = 2$ К. Сплошная кривая — расчет (см. текст)

Рис. 2. Зависимость степени линейной поляризации от давления: 1 — $\epsilon \approx 0$; 2 — $\epsilon = 160$ мэВ. $P \parallel [\bar{1}11]$, $T = 2$ К

Возбуждение люминесценции в кристалле p -GaAs, легированном Zn ($1,7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) осуществлялось излучением Kr-лазера (1,92 эВ). Регистрировалась люминесценция вдоль осей $[110]$ или $[\bar{1}11]$. Давление прикладывалось в перпендикулярном направлении (в первом случае по $[\bar{1}11]$ или $[\bar{1}12]$, во втором по $[\bar{1}10]$). Регистрируемое излучение было связано с рекомбинацией электронов в процессе их термализации (горячая люминесценция²). Подчеркнем, что наблюдалось излучение электронов, испытавших после рождения много актов рассеяния. Поэтому зависимость $\rho(\epsilon)$ не связана с анизотропией распределения электронов по импульсам, которая возникает при фотовозбуждении из валентной зоны².

Основным каналом излучательной рекомбинации в исследованном случае были переходы зона проводимости — мелкий акцептор. Обнаруженный эффект является прямым экспериментальным подтверждением зависимости от ϵ правил отбора для таких переходов. Он обусловлен наличием примеси орбитальной d -функции в основном состоянии акцептора. Основное состояние дырки, связанной на мелком акцепторе, есть суперпозиция, орбитальных s - и d -функций³. Поэтому излучательная рекомбинация возможна только для электронов, движущихся в таких же состояниях. При малых ϵ , однако, рекомбинируют лишь электроны, находящиеся в s -состоянии. Это связано с малостью перекрытия d -функций электрона и дырки. При энергиях же $\epsilon \gtrsim E_A$ (E_A — энергия ионизации акцептора) этим перекрытием пренебречь нельзя, и становится существенным канал рекомбинации электронов, находящихся в d -состоянии (электронов с орбитальным моментом свободного движения, равным 2)⁴. Энергия ионизации мелких акцепторов в GaAs $E_A \approx 30$ мэВ, что соответствует величине ϵ , при которой проявляется зависимость $\rho(\omega)$ на рис. 1.

Полный момент связанный на акцепторе дырки в основном состоянии равен $3/2$. Одноосное сжатие кристалла приводит к расщеплению уровня дырки на два крамерсовы дублета. При этом основным становится уровень с $|M| = 1/2$ (M — проекция момента дырки на ось деформации). Вычисленная на основании⁴ величина ρ при переходах на этот уровень:

$$\rho = \frac{15 - 9x}{25 + 17x}, \quad x = \left| \frac{Q_2}{Q_0} \right|, \quad (1)$$

где Q_0 и Q_2 — интегралы перекрытия s - и d -функций, соответственно. Используя рассчитанные численно в работе ⁵ значения Q_0 и Q_2 получаем зависимость $\rho(\epsilon)$, приведенную на рис. 1 (сплошная кривая). Некоторое отличие от экспериментальных зависимостей возможно связано с тем, что при выводе (1) деформационное расщепление уровня акцептора Δ предполагалось гораздо меньшим E_A , в то время как на опыте при $P = 4$ кбар $\Delta \approx 16$ мэВ.

На рис. 2 приведены зависимости ρ от величины давления P , приложенного вдоль оси [111] при $\epsilon \approx 0$ (измерения в максимуме краевой полосы) и $\epsilon = 160$ мэВ. Видно, что при $P \approx 3$ кбар обе кривые выходят на насыщение при ρ , близких к расчетным значениям 0,6 и 0,33 для рекомбинации на уровень с $|M| = 1/2$. Отметим, что ход начальных (возрастающих) участков кривых определяется не изменением относительной заселенности дублетов, а "подавлением" влияния внутренних хаотических полей. Сходные зависимости $\rho(P)$ и близкие значения ρ в насыщении наблюдались и при деформации по осям [112] и [110].

Авторы признательны В.И.Перелю за обсуждение результатов.

Литература

1. Кардона М. Модуляционная спектроскопия. М.: Мир, 1972, с. 304.
2. Захарченя Б.П., Мирлин Д.Н., Перель В.И., Решина И.И. УФН, 1982, 136, 458.
3. Гельмонт Б.Л., Дьяконов М.И. ЖЭТФ, 1972, 62, 713.
4. Поляков Д.Г. ФТТ, 1982, 24, 3542.
5. Дымников В.Д., Перель В.И., Полупанов А.Ф. ФТП, 1982, 16, 235.