

## ИЗМЕРЕНИЕ ГРУППОВОЙ СКОРОСТИ ПОЛЯРИТОНОВ В КРИСТАЛЛЕ АНТРАЦЕНА

*Н.А.Видмонт, А.А.Максимов, И.И.Тартаковский*

Проведено измерение групповой скорости поляритонов в диапазоне  $3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^5$  см  $\cdot$  с<sup>-1</sup> по временной задержке импульсов перестраиваемого лазера на красителе при прохождении через тонкие монокристаллы антрацена. Сопоставление результатов эксперимента с численными расчетами позволило найти значения параметров, определяющих ход дисперсионной кривой для нижней поляритонной ветви.

Измерение групповой скорости поляритонов с использованием время-пролетной методики<sup>1</sup> является одним из прямых экспериментов, позволяющих определить дисперсионную кривую поляритонов в области сильного светоекситонного смешивания. В рамках поляритонных представлений прохождение света через кристалл эквивалентно преобразованию на границе кристалла падающей световой волны в поляритоны той же частоты, их распространению в кристалле и последующему преобразованию на противоположной границе в световую волну. Основная идея времяпролетной методики и заключается в том, что, измеряя временную задержку светового импульса при его прохождении через кристалл определяется тем самым время пролета поляритонов в образце и, соответственно, при известной толщине кристалла — их групповая скорость. В последнее время подобные исследования были выполнены на кристаллах CuCl<sup>2</sup>, GaAs<sup>3</sup> и CdSe<sup>4</sup>. В настоящей работе проведены измерения групповой скорости поляритонов в кристаллах антрацена в области частот вблизи дна нижней экситонной зоны.

В работе использовались совершенные монокристаллы антрацена, выращенные из газовой фазы с развитой плоскостью (001). Измерения проводились на трех образцах толщиной  $d = 1,6$ ;  $d = 11,5$  и  $d = 35$  мкм. Кристаллы свободно монтировались в бумажных конвертах и помещались в оптическом криостате в сверхтекучий гелий при  $T = 1,6$  К.

Излучение перестраиваемого лазера на красителе направлялось перпендикулярно к поверхности кристалла и было линейно поляризовано ( $E \parallel b - \text{оси}$ ). В отличие от исследований<sup>2-4</sup>, в которых измерение групповой скорости поляритонов осуществлялось с использованием пикосекундных лазеров, в настоящей работе использовался перестраиваемый лазер на красителе с импульсами генерации наносекундной длительности  $\sim 3$  нс. Спектральная ширина полосы генерации составляла  $\Delta\omega_{\text{возб}} = 0,5$  см<sup>-1</sup>, частота следования импульсов 25 Гц, пиковая мощность — 1,5 кВт. Лазерное излучение, прошедшее сквозь кристалл, направлялось затем через монохроматор ДФС-12, который устанавливался на длину волны генерации, а раскрытие щелей отвечало спектральному интервалу  $\sim \Delta\omega_{\text{возб}}$ . Этим устранялись погрешности в определении групповой скорости в области частот с сильной дисперсией поляритонных состояний, где также имеет место резкое возрастание коэффициента поглощения, и вклады от длинноволнового крыла полосы генерации могут привести к существенному искажению формы лазерного импульса, прошедшего через кристалл.

На выходе ДФС-12 импульсы регистрировались с помощью фотоумножителя 18ЭЛУ-ФМ с временным разрешением  $\sim 1,2$  нс, сигнал с которого подавался на стробоскопический осциллограф С7-5. С помощью многоканального анализатора НТА-1024 в одном измерении производилось усреднение по  $\sim 2000$  импульсам. В эксперименте измерялась величина временной задержки  $\Delta t$  импульса генерации, прошедшего через кристалл, относительно незадержанного импульса при выведении кристалла из лазерного пучка. Типичные результаты по измерению величины  $\Delta t$  в кристалле толщиной  $d = 11,5$  мкм при двух значениях частоты генерации  $\omega_{\text{возб}}$  представлены на рис.1. Регистрирующая система позволяла измерять

величину  $\Delta t$  с точностью  $\sim 0,03$  нс, что определялось стабильностью лазерных импульсов и стабильностью запуска измерительной установки.

На рис. 2 приведены результаты по измерению зависимости групповой скорости поляритонов ( $V_g = d/\Delta t$ ) от частоты, полученные на трех образцах разной толщины.

Результаты эксперимента сопоставлялись с численными расчетами зависимости групповой скорости  $V_g(\omega) = \partial\omega/\partial k$ . При проведении этих расчетов использовалось следующее соотношение для дисперсии поляритонов:

$$\frac{c^2 k^2}{\omega^2} = \epsilon_0 + \frac{\omega_p^2 F}{(\omega_T + \frac{\hbar k^2}{2m^*} - \omega)(\omega_T + \omega)},$$

где  $k$  – квазимпульс поляритонов,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость, вдали от области резонанса,  $\omega_p$  – плазменная частота,  $F$  – сила осциллятора,  $m^*$  – эффективная масса экситона,  $\omega_T$  – частота дна экситонной зоны. В расчетах использовались значения  $\epsilon_0 = 2,7$  и  $\omega_p^2 = 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ . Наилучшее согласие расчета с экспериментальными данными достигалось при следующих значениях параметров:  $\omega_T = 25096 \text{ см}^{-1}$ ,  $F = 0,25$ ,  $m^* = 300 m_e$ ;  $m_e$  – масса электрона (сплошная кривая на рис.2).

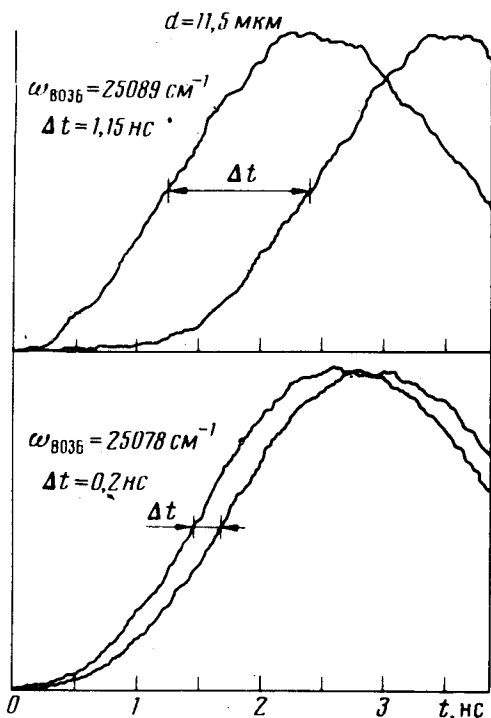


Рис. 1

Рис.1. Временная задержка  $\Delta t$  лазерного импульса при прохождении через кристалл антрацена толщиной  $d = 11,5$  мкм при двух значениях частоты  $\omega_{\text{Возб}}$

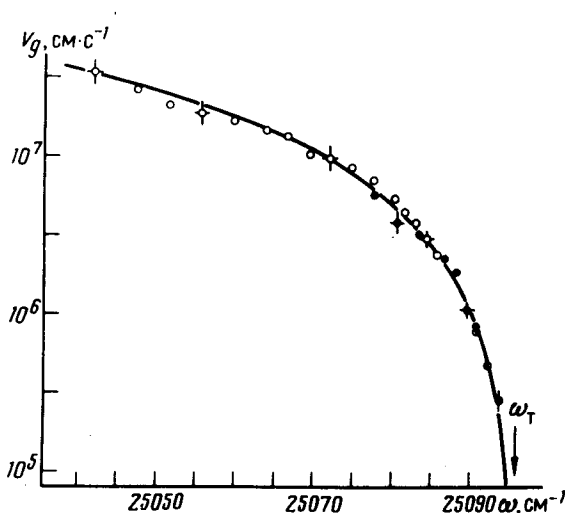


Рис. 2

Рис.2. Зависимость групповой скорости поляритонов  $V_g$  от частоты, полученная на кристаллах различной толщины:  $\circ$  – 35 мкм,  $\bullet$  – 11,5 мкм,  $\circ$  – 1,6 мкм. Сплошная кривая – расчет

Следует отметить, что расчетные кривые  $V_g(\omega)$  в исследуемой области частот наиболее чувствительны к изменению величины  $\omega_T$  и в меньшей степени зависят от величин  $F$  и  $m^*$ . Значения этих параметров, определенные по данным эксперимента составляют:

$$\omega_T = 25096 \pm 0,5 \text{ см}^{-1}, F = 0,25 \pm 0,05, m^* > 100 m_e.$$

В работах <sup>5, 6</sup> по исследованию низкотемпературной поляритонной люминесценции в кристаллах антрацена объяснение целого ряда спектрально-временных эффектов основывалось на предположении о том, что минимальная групповая скорость поляритонов нижней ветви  $V_g^{min}$  меньше скорости звука ( $u = 2 \div 4 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$  для различных акустических ветвей <sup>7</sup>). Соотношение  $V_g^{min} < u$  выполняется при значениях эффективной массы экситонов  $m^* \gtrsim 100 m_e$ . Таким образом, наименьшее измеренное в эксперименте значение  $V_g = 2,9 \cdot 10^5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ , а также полученная оценка  $m^* > 100 m_e$  являются прямым подтверждением того, что в кристаллах антрацена в области частот вблизи  $\omega_T$  минимальная групповая скорость поляритонов меньше скорости звука.

#### Литература

1. Frankel M.J., Birman J.L. Phys. Rev., 1977, A15, 2000.
2. Segawa Y., Aoyagi Y., Namba S. Solid State Comm., 1979, 32, 229.
3. Ulbrich R.G., Fehrenbach G.W. Phys. Rev. Lett., 1979, 43, 963.
4. Itoh T., Lavallard P., Reydellet J., Benoit a la Guillaume C. Solid State Comm., 1981, 37, 925; Duong P.H., Itoh T., Lavallard P. Solid State Comm., 1982, 43, 879.
5. Galanin M.D., Khan-Magometova Sh.D., Myasnikov E.N. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 1980, 57, 119.
6. Видмонт Н.А., Максимов А.А., Тартаковский И.И. ФТТ, 1982, 24, 1384.
7. Lutz U. Gitterdynamik von Antrazen, Diss., Technischen Hochschule, Zürich, 1970.