

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ И РАЗМЕРА ОБРАЗЦОВ НА КИНЕТИКУ И ПЛЕНЕНИЕ ПОЛЯРИТОНОВ**

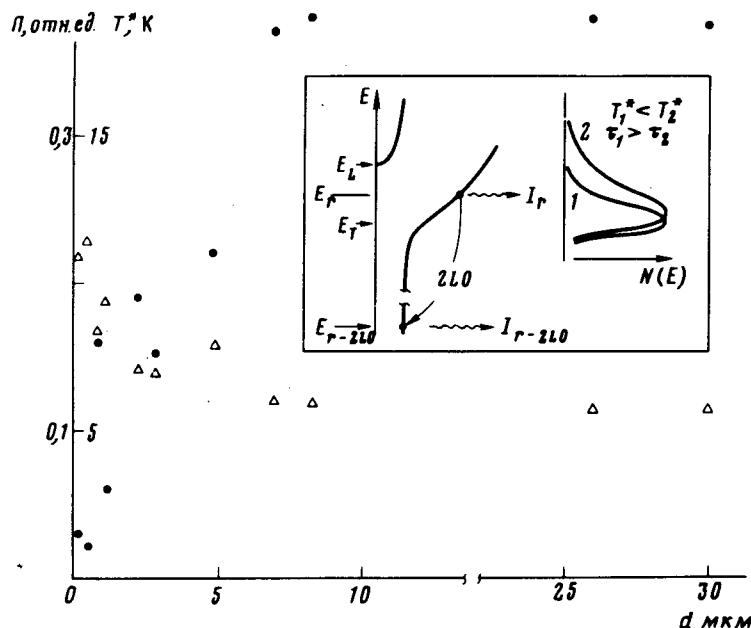
*B.B. Травников, B.B. Криволапчук*

Впервые экспериментально исследовано влияние конечных размеров образцов на кинетику и пленение поляритонов. Обнаружено уменьшение времени жизни поляритонов в образцах малой толщины. Получена экспериментальная оценка диффузационной длины поляритонов ( $L \cong 5 \div 7$  мкм) для образцов CdS высокого качества.

В последнее время пристальное внимание исследователей привлекает изучение свойств поверхности и приповерхностных областей, оказывающих существенное влияние на различ-

ные свойства полупроводников. Влияние поверхности возрастает при исследовании образцов малого размера. В данной работе исследовано влияние толщины образцов на кинетику и пленение поляритонов.

При одинаковых условиях возбуждения и регистрации исследованы спектры излучения экситонного состояния  $n=1A$  кристаллов CdS при возбуждении лазерной линией 476,5 нм и  $T=2$  К в образцах разной толщины ( $d$ ). Эксперименты проводились на совершенных пластинках, выращенных из газовой фазы и специально не легированных. Всего в работе исследовано около 40 образцов. В области  $d \lesssim 2$  мкм использовались образцы, на которых ранее наблюдалась интерференция добавочных волн<sup>1</sup>. Из этого набора были отобраны образцы разной толщины, имеющие наибольшие времена жизни поляритонов ( $\tau$ ). Отбор образцов осуществлялся на основании формы полосы 2LO-люминесценции, возникающей после рассеяния поляритонов на двух LO-фононах из области резонанса. Как известно<sup>2</sup>, форма этой полосы отражает функцию распределения поляритонов по энергии  $N(E)$ . В свою очередь,  $N(E)$  существенным образом зависит от  $\tau$ <sup>3,4</sup>. Чем больше  $\tau$ , тем больше степень термализации поляритонов (полного установления теплового равновесия с решеткой при гелиевых температурах из-за особенностей энергетической релаксации поляритонов<sup>5</sup> не происходит). Для характеристики степени термализации, а следовательно, и времени  $\tau$ , мы определяли величину  $T^*$ , соответствующую эффективной температуре устанавливающегося за время  $\tau$  распределения  $N(E)$ . Значения  $T^*$  определялись по форме коротковолновой части полосы 2LO-люминесценции (подробнее анализ функции  $N(E)$  и определения  $T^*$  будут опубликованы позднее). На рисунке представлены результаты измерения лишь для тех образцов, в которых значения  $T^*$  были минимальными.



Зависимость эффективной температуры поляритонов  $T^*(\Delta)$  и отношения  $\Pi (\bullet)$  от толщины образцов. На вставке к рисунку схематически представлена дисперсионная кривая поляритонов и указаны ее участки, определяющие измеряемые интенсивности поляритонного излучения ( $E_L$  и  $E_T$  — энергия дна зон продольных и поперечных экситонов). Кроме того, на вставке схематически показано распределение поляритонов по энергии для двух образцов разной толщины ( $d_1 > d_2$ ).

С уменьшением  $d$  величина  $T^*$  увеличивается, что соответствует уменьшению времени жизни поляритонов. Это связано, очевидно, с увеличением воздействия приповерхностных областей на общую кинетику поляритонов. В приповерхностной области  $\tau$  может быть существенно меньше, чем в объеме, по двум причинам. Во-первых, вблизи поверхности может быть большая концентрация дефектов, укорачивающих время жизни поляритонов по сравнению с объемным (такое объяснение использовалось при интерпретации результатов в работе <sup>6</sup>). Во-вторых, существенное влияние на  $\tau$  может оказывать приповерхностное электрическое поле, приводящее к загибу зон вблизи границы полупроводника. Наличие электрического поля может привести <sup>7</sup> к зависимости времени жизни экситона от координаты и существенному уменьшению  $\tau$  вблизи поверхности. Кроме того, приповерхностное поле может затягивать экситоны из объема к поверхности <sup>8</sup>, что также может быть причиной уменьшения  $\tau$ . В принципе уменьшение  $\tau$  в тонких образцах может быть обусловлено возрастанием вероятности излучательной гибели поляритонов <sup>9</sup>. Однако в этом случае должна была бы заметно возрастать интенсивность резонансного излучения поляритонов по отношению к излучению экситонов, связанных на примесях, чего в эксперименте не наблюдается.

Толщина образцов оказывает также влияние и на пленение поляритонов. Характеристикой степени пленения поляритонов, как показано в <sup>10</sup>, может служить величина  $\Pi = I_{r \cdot 2LO} / I_r$ , где  $I_r$  – интенсивность излучения поляритонов с энергией  $E_r$  в центре резонансной линии поляритонной люминесценции ( $\lambda_r = 485,5$  нм), а  $I_{r \cdot 2LO}$  – интенсивность излучения, возникающего после рассеяния поляритонов на  $2LO$ -фононах ( $\lambda_{r \cdot 2LO} = 500,3$  нм) (рисунок). В области больших  $d$  отношение  $\Pi$  не зависит от толщины образцов. Оно начинает уменьшаться при  $5 \div 7$  мкм. При минимальных  $d$  отношение  $\Pi$  уменьшается более, чем на порядок, по сравнению с толстыми образцами.

В толстых образцах с большим  $\tau$  в результате пространственной релаксации поляритоны за время жизни занимают объем, определяемый длиной диффузии  $L$ , при этом они скапливаются в результате энергетической релаксации в область резонанса <sup>3 4</sup>. В резонансной области коэффициент поглощения очень большой, и соответственно длина свободного пробега поляритона ( $l$ ) очень мала ( $\sim 10^{-5}$  см). В результате, выйти из кристалла в виде излучения  $I_r$  может лишь незначительная часть поляритонов из приповерхностной области толщины порядка  $l$ . Основная доля поляритонов резонансной области запирается, „пленяется” в объеме образца процессами рассеяния на фонах и примесях и не может подойти к поверхности, чтобы превратиться в излучение. Излучательный выход накопленной в объеме поляритонной энергии осуществляется в этом случае, в основном, за счет процессов захвата поляритонов на мелкие примесные уровни с последующим излучением <sup>10</sup>. Выход излучения  $2LO$ -люминесценции осуществляется без потерь из любых точек кристалла, поскольку коэффициент поглощения в этой области близок к нулю. В результате интенсивность  $I_{r \cdot 2LO}$  пропорциональна числу поляритонов, накопленных во всем объеме. Таким образом, величина  $\Pi$  пропорциональна отношению объема, занимаемого поляритонами, к объему, дающему вклад в резонансное излучение. В толстых кристаллах занимаемый поляритонами объем характеризуется величиной  $L$ , и пока  $d > L$  он определяется только диффузией поляритонов. При уменьшении  $d$  толщина образца может стать сравнимой с диффузационной длиной  $L$ . Начиная с этого момента, дальнейшее уменьшение  $d$  приводит к тому, что объем, занимаемый поляритонами, определяется уже не диффузией, а толщиной образца. Это является, очевидно, причиной наблюдаемого уменьшения величины  $\Pi$  в тонких образцах. Величина толщин образцов, при которых  $\Pi$  начинает уменьшаться, может быть использована для оценки величины  $L$  совершенных образцов CdS при гелиевых температурах, в результате чего получаем  $L \cong 5 \div 7$  мкм.

Таким образом, в данной работе показано существенное влияние размера образца на кинетику поляритонов <sup>1)</sup>. Продемонстрирована возможность получения ценной информации

<sup>1)</sup> Влияние размера образцов на кинетику и спектр излучения отмечалось и ранее, например, при исследовании люминофоров <sup>11</sup> и молекулярных кристаллов <sup>12</sup>.

о кинетике собственных возбуждений в объеме и вблизи поверхности при исследовании наборов образцов разной толщины.

В заключение авторы выражают благодарность О.Н.Таленскому и И.Н.Уральцеву за представленные для исследования образцы, А.А.Каплянскому и С.А.Пермогорову за полезные обсуждения и критические замечания.

### Литература

1. *Makarenko I.V., Uraltsev I.N., Kiselev V.A.* Phys. St. Sol. (b), 1980, 98, 773.
2. *Гросс Е.Ф., Пермогоров С.А., Разбирин Б.С.* ФТТ, 1966, 8, 1483.
3. *Пермогоров С.А., Травников В.В.* ФТТ, 1980, 20, 2651.
4. *Травников В.В., Криволапчук В.В.* Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 196.
5. *Wiesner P., Heim U.* Phys. Rev. B., 1975, 11, 3071.
6. *Зиновьев Н.Н., Иванов Л.П., Козуб В.И., Ярошецкий И.Д.* ЖЭТФ, 1983,
7. *Киселев В.А.* Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 369.
8. *Грибников З.С., Рашиба Э.И.* ЖТФ, 1956, 28, 1948.
9. *Sumi H.* J. Phys. Soc. Japan, 1976, 41, 526.
10. *Травников В.В., Криволапчук В.В.* Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 419.
11. *Толстой Н.А., Лю шунь-фу, Лапидус М.Е.* Оптика и спектроскопия, 1962, 13, 242.
12. *Brodin M.S., Dudinskii M.A., Marisova S.V., Myasnikov E.N.* Phys. St. Sol (b), 1976, 74, 453.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
3 августа 1983 г.