

МЕХАНИЗМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СТИМУЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТА В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $A^{II}B^{VI}$

Агекян В. Ф., Александров Б. Г., Степанов Ю. А.

Стимулированное излучение в полупроводниках $A^{II}B^{VI}$ при оптической накачке наблюдалось в CdS, CdSe и в других бинарных соединениях, а также в твердых растворах (ТР) с анионным замещением. Механизмы генерации разнообразны, они зависят от параметров эксперимента и не всегда поддаются уверенной интерпретации. Стимулированное излучение в $CdS_{1-x}Se_x$ при гелиевых температурах и не очень высоких уровнях возбуждения было отнесено в [1]

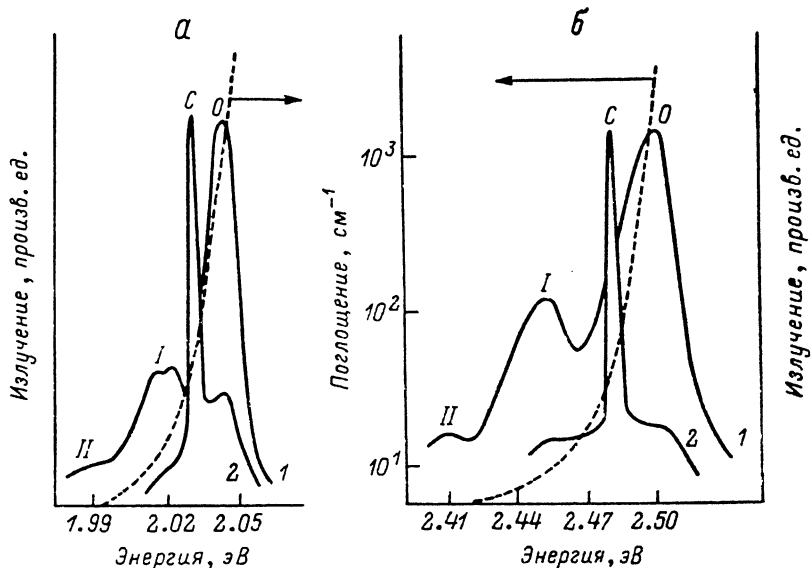


Рис. 1. Спектры излучения $CdS_{1-x}Se_x$ при уровнях однофотонного возбуждения 10 (I) и 10^6 Вт/см² (2).

$a - x=0.60$, $b - x=0.03$. o — бесфононная полоса ФЭ, I и II — фононные повторения с LO-фононами, C — линия стимулированного излучения; пунктир — спектр поглощения. $T=2$ К.

к фононным повторениям связанных экситонов, аналогичных экситонам, связанным на одиночных дефектах в CdS и CdSe (известные линии I_1, I_2, I_3), в [2] полоса стимулированного излучения в $CdS_{1-x}Se_x$ с $x < 0.6$ в близких условиях приписывается неупругому экситон-экситонному рассеянию.

В последнее время была развита концепция экситонов, локализованных на флуктуациях потенциала решетки ТР, порожденных кластерами третьей компоненты [3] («флуктуационные» экситоны — ФЭ). Особенно силен этот эффект в ТР $A^{II}B^{VI}$ с анионным замещением, в том числе в $CdS_{1-x}Se_x$ с содержанием Se более нескольких процентов [4, 5] (он подавляет захват экситонов прочими дефектами). Появление при переходе от бинарных соединений к ТР принципиально нового типа локализации возбуждения и, как следствие, нового канала низкотемпературной спонтанной люминесценции через ФЭ не позволяет механически переносить представления о генерации света в бинарных соединениях $A^{II}B^{VI}$ на ТР.

В настоящей работе исследованы спектры излучения пластинок $CdS_{1-x}Se_x$ в широком диапазоне x с переходом от низких уровней возбуждения к высоким при однофотонном импульсном возбуждении азотным лазером и низких температурах. Установлено, что во всех случаях стимулированное излучение развивается на длинноволновом краю бесфононной полосы ФЭ, где коэффициент поглощения света в невозбужденном кристалле имеет порядок $10^1 \div 10^2$ см⁻¹

(рис. 1). В ТР с различными относительными концентрациями S и Se начиная с 50 К происходит температурное смещение линии генерации в область более низких энергий. Для определения канала генерации существенны следующие свойства ТР.

1. Люминесценция ФЭ в $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ имеет высокий квантовый выход и времена затухания порядка наносекунд, для ТР с $x > 0.03$ она является единственным каналом излучения при низких температурах.

2. Спектральные и временные измерения показывают, что в области температур $40 \div 60$ К экситоны переходят из локализованного состояния в свободное.

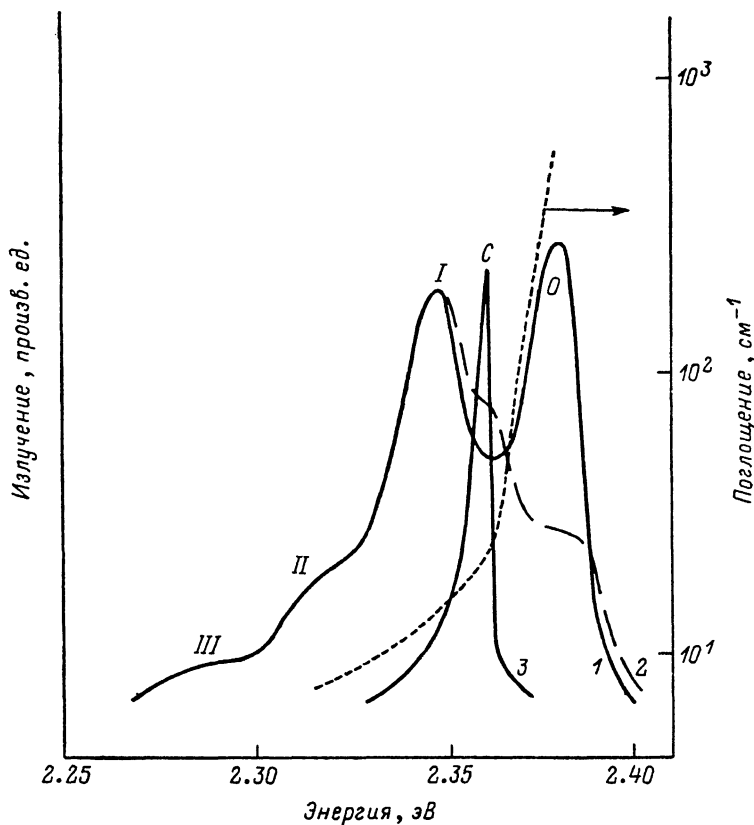


Рис. 2. Спектр излучения $\text{CdS}_{0.9}\text{Se}_{0.1}$ при уровнях возбуждения 10^2 (1), 10^4 (2) и 10^6 Вт/см² (3). O — бесфононная полоса ФЭ, I—III — фононные повторения с LO-фононами; пунктир — спектр поглощения. $T=2$ К.

3. Миграция экситонов по флуктуациям и самопоглощение, сопровождающиеся понижением энергии, приводят к высокой заселенности нижних уровней ФЭ, расположенных в спектральном диапазоне с малым коэффициентом поглощения (рис. 1, 2).

Можно сделать вывод, что низкотемпературным каналом стимулированного излучения в $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ является люминесценция ФЭ. Вследствие релаксации экситонов на глубокие флуктуации распределение потерь по спектру таково, что удается достичь усиления света на длинноволновом краю бесфононной полосы ФЭ, и порог генерации здесь оказывается ниже, чем для процесса с участием фононов. Спектральное положение линии генерации относительно максимума в пределах контура бесфононной полосы ФЭ зависит от состава ТР, температуры, условий возбуждения и формы образца.

Уровень оптического возбуждения начинает влиять на форму спектра излучения ФЭ задолго до достижения направленного стимулированного излучения. На рис. 2 видно, что трансформация бесфононной полосы ФЭ внешне похожа на те изменения, которые вносит самообращение контура экситонного излуче-

ния, возникающее при диффузии экситонов в глубь образца при поверхностном возбуждении [6].¹ Однако работа [6] выполнена на свободных экситонах в CdS при азотной температуре, в случае же ТР и диффузия возбуждения, и коэффициент поглощения в области контура люминесценции ФЭ представляются недостаточными для столь сильного искажения бесфононной полосы. Для выяснения этого вопроса необходимо исследовать край поглощения в сильно возбужденных ТР $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$.

Вследствие высокой концентрации локализуемых потенциалов роль свободных экситонов в $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ при гелиевых температурах незначительна, они не наблюдаются в люминесценции ни при каких уровнях возбуждения. По этой причине процессы, которые обычно привлекаются для описания генерации света при низких температурах в бинарных соединениях, в ТР не реализуются. Это относится, в частности, к экситон-экситонному рассеянию [7], вследствие чего полосу генерации в $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ нельзя считать аналогом известной Р-полосы в CdS.

Переход стимулированного излучения в более длинноволновую область спектра при очень высоких уровнях возбуждения [1, 2], по-видимому, соответствует диссоциации ФЭ и образованию электронно-дырочной плазмы. В работе [2] для $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ с $x < 0.6$ и $x > 0.6$ были получены при двухфотонном возбуждении качественно различающиеся спектры стимулированного излучения. Эта концентрационная зависимость согласуется с важной ролью ФЭ: с ростом x именно в области $x \approx 0.6$ скачкообразно ослабляется вклад ФЭ в люминесценцию и появляются новые каналы излучательной рекомбинации. При выяснении возможности вклада излучения электронно-дырочной жидкости (ЭДЖ) следует учесть, что фазовую диаграмму экситонный газ—ЭДЖ для CdS нельзя просто экстраполировать на $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$, поскольку флуктуирующий потенциал ТР способен препятствовать образованию ЭДЖ или же электронно-дырочные капли могут зарождаться на этих флуктуациях.

В заключение отметим, что механизм низкотемпературной генерации на ФЭ должен быть универсальным для ТР, поскольку флуктуации потенциала решетки и локализация на них свободных носителей и экситонов являются собственными свойствами ТР.

Л и т е р а т у р а

- [1] Бродин М. С., Резниченко В. Я. — В кн.: Физика соединений $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$. М., 1986, с. 184—225.
- [2] Бродин М. С., Воловик Н. В., Резниченко В. Я., Страшникова М. И. — ФТТ, 1981, т. 23, в. 5, с. 1318—1323.
- [3] Shui L., Klein M. V. — Phys. Rev. Lett., 1980, v. 44, N 16, p. 1087—1090.
- [4] Permogorov S. A., Travnikov V., Verbin S. et al. — Phys. St. Sol. (b), 1981, v. 106, N 1, p. K57—K60.
- [5] Cohen E., Sturge M. D. — Phys. Rev., 1982, v. B25, N 6, p. 3828—3840.
- [6] Травников В. В., Криволапчук В. В. — ФТТ, 1982, т. 24, в. 4, с. 961—970.
- [7] Boiko G. A., Dneprovskii V. S., Kraevski M. V. et al. — Phys. St. Sol. (b), 1978, v. 85, N 1, p. 111—119.

Ленинградский государственный
университет

Получено 16.05.1988
Принято к печати 26.07.1988

¹ С этим предположением согласуются и спектры излучения ФЭ в $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$, зарегистрированные с различными временными задержками.