

АНОМАЛЬНОЕ СМЕЩЕНИЕ ПОЛОСЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В НЕКОТОРЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

И. А. Дамаскин, С. Л. Пышкин, С. И. Радауцан, В. Е. Тэзлэван

Обнаружено смещение на 0,1 – 0,2 эв полосы люминесценции с увеличением интенсивности возбуждающего света в кристаллах CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 в коротковолновую область спектра – в сторону, противоположную смещению с увеличением температуры. Обсуждаются возможные механизмы явления.

Мы исследовали люминесценцию соединений CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 , возбуждая излучение монокристаллов названных соединений различными источниками света: 1) гелий-неоновым лазером, длина волны возбуждающего света $\lambda_B = 633 \text{ нм}$, концентрация неравновесных носителей тока, генерируемых светом $\Delta n \cong 10^{13} \text{ см}^{-3}$ и 2) второй гармоникой света лазера на неодимовом стекле, $\lambda_B = 530 \text{ нм}$, $\Delta n = 10^{17} + 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

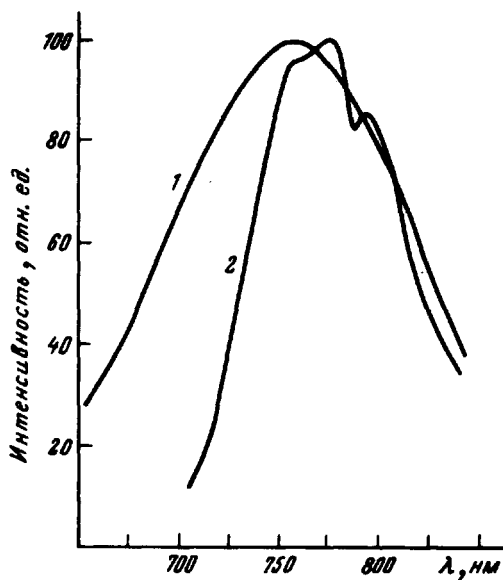


Рис. 1. Спектры люминесценции CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 (80°K): 1 — CdIn_2S_4 [1]; 2 — AgIn_5S_8 (возбуждение светом He — Ne-лазера, плотность потока фотонов возбуждающего света $\bar{n} = 3 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$)

Кристаллы названных соединений укреплялись на хладопроводе криостата с регулируемой температурой. Отсутствие заметного нагрева образцов при освещении импульсами света второй гармоники лазера на неодимовом стекле подтверждалось поведением спектров люминесценции, которые с увеличением интенсивности света смещались в сторону, противоположную направлению температурного смещения. Спектры люминесценции, возбуждаемые импульсами света, регистрировались с помощью монохроматора МДР-2 (обратная линейная дисперсия 4 нм/мм , разрешение $\sim 5 \text{ \AA}$), фотоумножителя ФЭУ-84М и осциллографа с памятью. При регистрации люминесценции, возбуждаемой светом гелий-неонового лазера, модулированного с частотой 1 кГц , применялся селективный усилитель У2-4.

Соединения CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 принадлежит к широкому классу тройных полупроводников, содержащих собственные структурные дефекты. Один из типов названных дефектов — вакансии в тетраэдрическом окружении атомов S, находясь в нестехиометрическом соотношении в CdIn_2S_4 , является люминесцентным центром, возбуждение которого светом приводит к излучению с максимумом при 750 нм (80°K) и полушириной $0,3 - 0,4 \text{ эв}$ [1]. Спектр люминесценции AgIn_5S_8 исследован нами впервые, природа центров люминесценции и форма спектра — те же, что и у CdIn_2S_4 (положение максимума полосы отличается незначительно, см. рис. 1).

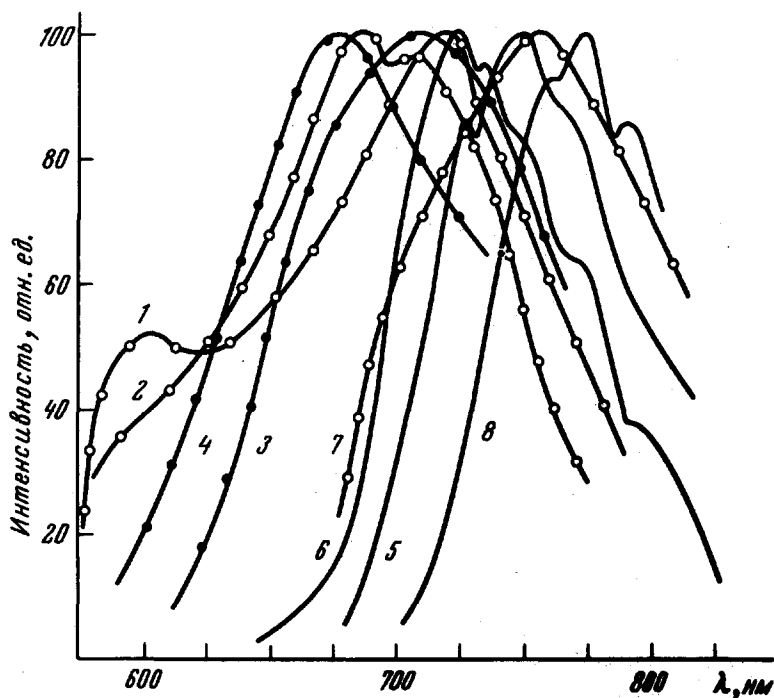


Рис. 2. Спектры люминесценции CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 при возбуждении светом различной интенсивности: 1, 2, 3, 4 — CdIn_2S_4 , возбуждение второй гармоникой Nd-лазера: 1, 2 — $77,3^\circ\text{K}$, плотность потока фотонов $\bar{n} = 9 \cdot 10^{14}$ и $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ соответственно; 3, 4 — 300°K , $\bar{n} = 8 \cdot 10^{14}$ и $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. 5, 6 — AgIn_5S_8 , возбуждение второй гармоникой Nd-лазера ($77,3^\circ\text{K}$): 5 — $\bar{n} = 6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; 6 — $\bar{n} = 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. 7, 8 — CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 ($77,3^\circ\text{K}$), возбуждение He — Ne-лазером, $\bar{n} = 10^8 \text{ см}^{-3}$.

На рис. 2 представлены спектры люминесценции CdIn_2S_4 и AgIn_5S_8 ($77,3$ и 300°K), полученные при возбуждении светом названных двух источников, интенсивность излучения которых изменялась в широких пределах. Отметим, что при $\lambda_B = 633 \text{ нм}$ (He — Ne-лазер) в CdIn_2S_4 осуществлялось прямое возбуждение локальных центров (коэффициент поглощения $K = 2,5 \text{ см}^{-1}$ [2]): при $\lambda_B = 530 \text{ нм}$ (вторая гармоника Nd-лазера) — через запрещенную зону ($K = 70 \text{ см}^{-1}$, $77,3^\circ\text{K}$ и $K \approx 500 \text{ см}^{-1}$, 300°K [2]). На рис. 3 приведены зависимости положения максимума люминесценции от интенсивности возбуждающего света и температуры.

Отметим, что в наших экспериментах форма спектров люминесценции практически не зависела от способа (непрерывное возбуждение светом с длиной волны 633 нм; импульсное возбуждение светом с длиной волны 530 нм) и интенсивности возбуждения, однако, в случае возбуждения люминесценции второй гармоникой света лазера на неодимовом стекле интенсивность спектров люминесценции на несколько порядков превышала интенсивность спектров при возбуждении светом гелий-неонового лазера.

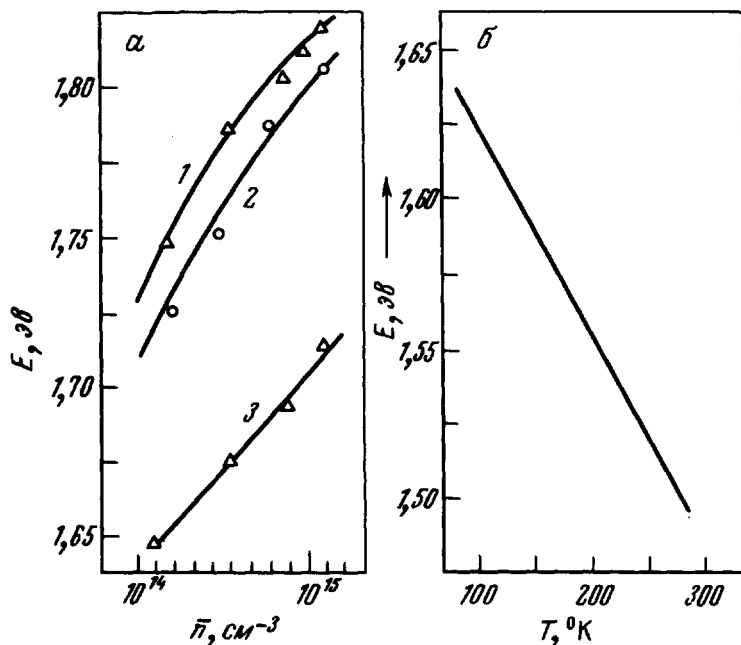


Рис. 3. Положение максимума люминесценции в зависимости от интенсивности возбуждающего света (а) и температуры (б). а: 1 — CdIn_2S_4 (300°K); 2 — CdIn_2S_4 (77,3°K), 3 — AgIn_5S_8 (77,3°K). б: CdIn_2S_4 [1]; возбуждение светом ксеноновой лампы; $\lambda_{\text{в}} = 400 + 500 \text{ нм}$

Как видно из рис. 2 и 3 полоса люминесценции в зависимости от интенсивности возбуждающего света плавно и весьма значительно (в интервале $750 + 680 \text{ нм}$) смещается в коротковолновую область спектра — в сторону, противоположную смещению с увеличением температуры.

Нам не известны эксперименты по обнаружению гигантских (свыше нескольких сотых эВ) плавных смещений спектра люминесценции полупроводников в коротковолновую сторону и точные причины, вызывающие такие смещения. В нашем случае смещение достигает $0,2 \text{ эВ}$ при $77,3^\circ\text{K}$ и $\sim 0,3 \text{ эВ}$ при 300°K . Данные, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что наблюдаемый эффект не может быть объяснен нагревом образца.

По мнению авторов, возможными причинами наблюдаемого эффекта могут быть: 1) изменение упругих постоянных решетки; 2) генерация неравновесных фононов и их участие в оптических переходах; 3) коллективные эффекты в системе люминесцентных центров высокой плотности.

Отметим, что конкретные расчеты связаны с известными трудностями, поскольку должны базироваться на подробных сведениях о структуре локального центра люминесценции, отсутствующих в настоящее время.

Обнаруженный эффект может найти весьма интересные практические применения; одно из них — создание источников света с плавной перестройкой полосы излучения.

Институт прикладной физики
Академии наук Молдавской ССР

Поступила в редакцию
2 апреля 1973 г.
После переработки
12 июля 1973 г.

Литература

- [1] I.A.Damaskin, S.L.Pyshkin, S.I.Radautsan, V.E.Tazlavan. Phys. Stat. Sol. (a) 6, 425, 1971.
 - [2] S.I.Radautsan, N.N.Syrbu, V.E.Tazlavan, K.F.Sherban, E.E.Strumban. Phys. Stat. Sol. (a) 15, 295, 1973.
-