

Влияние электронной и нейтронной радиации на спектры оранжевой люминесценции специально не легированных и легированных медью монокристаллов сульфида кадмия

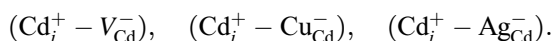
© Г.Е. Давидюк, В.С. Манжара, Н.С. Богданюк, А.П. Шаварова, В.В. Булатецкий

Волинский государственный университет им. Леси Украинки,
263009 Луцк, Украина

(Получена 20 марта 1996 г. Принята к печати 24 апреля 1996 г.)

Исследовались специально не легированные и легированные медью ($N_{Cu} = 10^{18} \text{ см}^{-3}$) монокристаллы CdS. На основании анализа дозовых зависимостей интенсивности оранжевой люминесценции ($\lambda_M = 605 \text{ нм}$) "чистых" и легированных образцов при облучении электронами с $E = 1.2 \text{ МэВ}$ и быстрыми реакторными нейтронами делается вывод о комплексной природе центров, ответственных за эту люминесценцию. Они состоят из межузельных атомов кадмия и атомов кислорода. Электронное облучение монокристаллов CdS:Cu ведет к образованию новых центров, ответственных за люминесценцию с $\lambda_M = 570$ и 545 нм .

В работе [1] было показано, что существенную роль в образовании центров оранжевой люминесценции ($\lambda_M = 605 \text{ нм}$) в монокристаллах CdS играют межузельные атомы кадмия (Cd_i). Однако, будучи мелкими донорами, они не могут являться центрами свечения [2]. Поэтому разные авторы [3–6] предлагают сложные модели центров O -люминесценции с участием Cd_i :



В работе [7] на основании исследования симметрии O -центров сделан вывод о том, что центрами фотолюминесценции являются тримеры, в состав которых входят межузельные атомы меди или серебра и глубокие акцепторы. Таким образом, природа центров O -люминесценции в CdS далеко не установлена, и ее уточнение могут оказаться полезными методы радиационной физики, которые дают возможность при сравнительно низких температурах контролируемо вводить собственные дефекты решетки и изучать их взаимодействие между собой и различными примесями.

В нашей работе использовались специально не легированные и легированные медью ($N_{Cu} = 10^{18} \text{ см}^{-3}$) монокристаллы CdS. Условия синтеза исследуемого материала описаны в [8–11]. Облучение электронами с $E = 1.2 \text{ МэВ}$ производилось на линейном ускорителе, температура облучения не превышала 20° C . Облучение нейтронами осуществлялось в вертикальном канале ядерного реактора в специальных вакуумированных кварцевых ампулах с кадмиевым фильтром. Средняя энергия быстрых реакторных нейтронов составляла $E = 2 \text{ МэВ}$. Температура во время облучения не превышала 70° C .

Исследовались спектральные характеристики и дозовые зависимости интенсивности O -люминесценции монокристаллов сульфида кадмия. Как до облучения, так и после облучения в "чистых" и легированных монокристаллах наблюдались широкие полосы свечения (рис. 1) с $\lambda = 605 \text{ нм}$ (пик I). Форма спектров люминесценции и ее возбуждения, а также поляризационные характеристики после облучения не изменялись, что свидетельствует

о тождественности O -центров, образованных радиацией, таковым до облучения.

Интенсивность O -люминесценции в чистых образцах и в некоторых легированных кристаллах, в которых начальное оранжевое свечение незначительное, увеличивается с дозой облучения (рис. 2). В монокристаллах CdS:Cu с доминирующей O -люминесценцией ее интенсивность уменьшается при облучении. Именно такой случай представлен на рис. 1.

Нелинейность дозовой зависимости O -излучения (рис. 2), ее насыщение и уменьшение интенсивности люминесценции при $\Phi > 3 \cdot 10^{17} \text{ электрон/см}^2$ свидетельствует о сложной природе O -центров. Более того, меньшая скорость введения центров оранжевой люминесценции в монокристаллах CdS:Cu (рис. 2, кривая 2), а в некоторых легированных образцах уменьшение O -люминесценции с дозой облучения, по-видимому, свидетельствуют о том, что в состав O -центров ($\lambda_M = 605 \text{ нм}$) атомы Cu не входят.

Если предположить, как это делается во многих работах [1–6], что ответственными за O -люминесценцию являются межузельные атомы кадмия, то дозовую зависимость O -излучения можно объяснить формированием комплексов радиационно образованных Cd_i с атомами некоторой неконтролируемой примеси, присутствующей как в чистых, так и в легированных образцах, которая является эффективным стоком для Cd_i . Роль такой примеси могут играть атомы кислорода. Во многих технологических работах [12–14] ответственным за O -люминесценцию считается кислород, присутствующий в решетке монокристаллов CdS. В чистых образцах с незначительной исходной концентрацией Cd_i большинство атомов кислорода свободны и, взаимодействуя с Cd_i , они образуют O -центры. Поэтому в этих кристаллах наблюдается в начальный момент облучения наибольшая скорость введения центров оранжевой люминесценции (рис. 2, кривая 1). При больших дозах значительная часть атомов кислорода захватывает радиационно образованные Cd_i (происходит насыщение стоков) и скорость введения O -центров уменьшается. Дальнейшее

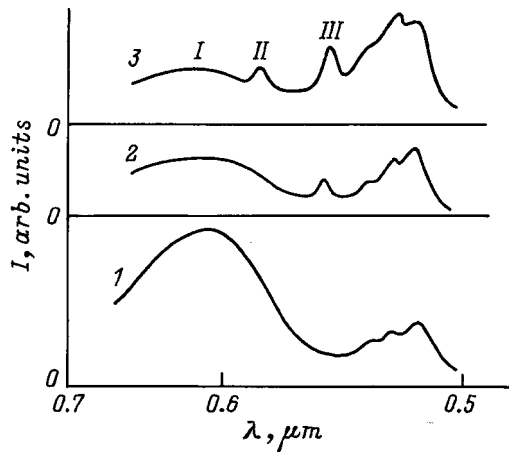


Рис. 1. Спектры люминесценции монокристаллов CdS:Cu ($T = 77\text{ K}$) до облучения (1) и после облучения электронами с $E = 1.2\text{ МэВ}$ и дозой $\Phi = 2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-2}$ (2, 3), 2 — до отжига, 3 — после отжига при $t = 150^\circ\text{ C}$ (10 мин).

облучение ($\Phi > 3 \cdot 10^{17}\text{ электрон/см}^2$) при практически неизменной концентрации O -центров ведет к образованию других центров излучательной и безызлучательной рекомбинации, которые перераспределяют на себя значительную часть рекомбинационного потока [8], уменьшая интенсивность O -люминесценции.

Как известно [15], легирование медью монокристаллов сульфида кадмия сопровождается увеличением концентрации Cd_i , который может захватываться атомами кислорода. Этим объясняется большая интенсивность O -люминесценции в исходных легированных кристаллах и меньшая скорость введения O -центров при их облучении по сравнению с чистыми образцами (рис. 2). В некоторых монокристаллах CdS:Cu с доминирующей O -полосой излучения, по-видимому, все атомы кислорода насыщены Cd_i и их облучение ведет с самого начала (вследствие рассмотренных выше причин) к уменьшению интенсивности оранжевой люминесценции (рис. 1).

Следует отметить, что радиационно образованные O -центры люминесценции ($\lambda_M = 605\text{ нм}$) термостабильны и практически не отжигаются до температур 250° C (рис. 3).

Поляризационные измерения показали, что для свечения в O -полосе монокристалла CdS ($\lambda = 605\text{ нм}$) выполняется условие $|P(0^\circ)| = |P(90^\circ)|$, ($|P(0^\circ)|$, $|P(90^\circ)|$ — степени поляризации, соответствующие максимумам поляризационной диаграммы), характерное для изотропных центров, которые могут представлять собой распределенные донорно-акцепторные пары. Значения $P_{sp} = -0.03$ (P_{sp} — степень спонтанной поляризации) и $P(0^\circ) = P(90^\circ) = -0.04$ согласуются со значениями, полученным в [7] при исследовании специально не легированных образцов CdS. На высокоэнергетическом участке оранжевой полосы монокристаллов CdS:Cu выполняется неравенство $|P(0^\circ)| \neq |P(90^\circ)|$, что свидетельствует

об анизотропности центров, ответственных за излучение в этой области.

В легированных кристаллах, по-видимому, кроме полосы с $\lambda_M = 605\text{ нм}$ (пик I) присутствует полоса с $\lambda_M = 570\text{ нм}$ (обусловленная анизотропными центрами, пик II), более заметная после облучения и особенно после отжига облученных образцов (рис. 1). Облучение легированных кристаллов ведет также к появлению слабой желто-зеленой полосы с $\lambda_M = 545\text{ нм}$ (пик III), интенсивность которой немного увеличивается после отжига (рис. 1). Следует отметить, что образование полосы с близким расположением максимума ($\lambda_M = 537\text{ нм}$) мы наблюдали при отжиге ($t > 100^\circ\text{ C}$) электронно-облученных специально не легированных образцов [9].

Нейтронное облучение монокристаллов CdS и CdS:Cu независимо от исходного значения интенсивности O -излучения всегда вело к почти полному исчезновению оранжевой люминесценции,

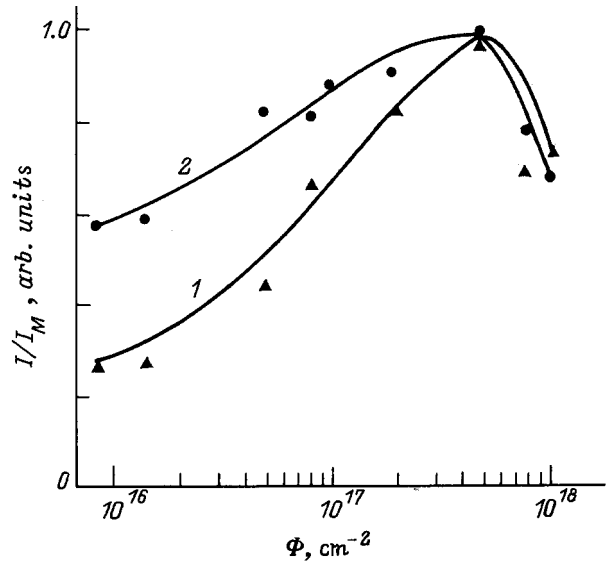


Рис. 2. Зависимость относительной интенсивности оранжевой люминесценции с $\lambda_M = 605\text{ нм}$ монокристаллов CdS (1) и CdS:Cu (2) от дозы электронного облучения с $E = 1.2\text{ МэВ}$ ($T = 77\text{ K}$).

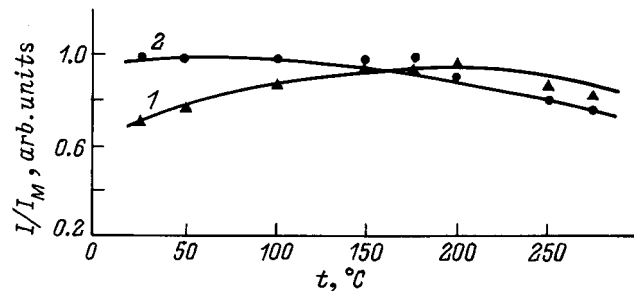


Рис. 3. Влияние изохронного отжига на интенсивность оранжевой люминесценции ($\lambda_M = 605\text{ нм}$) монокристаллов CdS (1) и CdS:Cu (2), облученных электронами с $E = 1.2\text{ МэВ}$ дозой $\Phi = 2 \cdot 10^{17}\text{ см}^{-2}$.

хотя при этом другие линии люминесценции хорошо идентифицировались.

Как известно [16], при облучении монокристаллов сульфида кадмия быстрыми нейтронами образуются кластеры дефектов, которые являются хорошими стоками для атомов примеси. По-видимому, они также являются хорошими стоками для атомов кислорода, уменьшая их концентрацию в объеме кристалла и, соответственно, интенсивность *O*-люминесценции.

Таким образом, дозовые зависимости интенсивности *O*-люминесценции в монокристаллах CdS и CdS:Cu при электронном и нейтронном облучении можно объяснить, считая, что за *O*-центры ответственны комплексы, состоящие из межузельных атомов кадмия и некоторой неконтролируемой примеси, роль которой могут играть атомы кислорода.

Список литературы

- [1] В.А. Кулп. Phys. Rev., **125**, 1865 (1962).
- [2] В.Э. Лашкарев, А.В. Любченко, М.К. Шейнкман. *Неравновесные процессы в фотопроводниках* (Киев, Наук. думка, 1981) с. 264.
- [3] Б. Ермолович, Г.И. Матвиевская, М.К. Шейнкман. ФТП, **9**, 2290 (1975).
- [4] П.Л. Кук, А.Я. Эрм, М.Е. Алтосаар, Я.Е. Мелликов, М.Д. Моин. Укр. физ. журн., **26**, 990 (1981).
- [5] J.E. Ralph. Phys. St. Sol. (a), **53**, 611 (1979).
- [6] N. Sysa, H. Watanabe, M. Wada. Jap. J. Appl. Phys. **15**, 2365 (1976).
- [7] Ю.М. Эмиров, С.С. Остапенко, М.А. Ризаханов, М.К. Шейнкман. ФТП, **16**, 1371 (1982).
- [8] Г.Е. Давидюк, Н.С. Богданюк, А.П. Шаварова. ФТП, **28**, 2056 (1994).
- [9] Н.С. Богданюк, Г.Е. Давидюк, А.П. Шаварова. ФТП, **29**, 201 (1995).
- [10] Н.С. Богданюк, Г.Е. Давидюк, А.П. Шаварова. ФТП, **29**, 357 (1995).
- [11] А.П. Галушка, Г.Е. Давидюк, В.Т. Мак, В.И. Куц, Н.С. Богданюк. Изв. вузов СССР. Физика, N 10, 128 (1977).
- [12] Н.А. Власенко, Н.И. Витриховский, З.Л. Денисова, В.Ф. Павленко. Опт. и спектр., **21**, 466 (1966).
- [13] Г.В. Бушуева, В.И. Решетов, А.А. Хромов, С.А. Пендюк, С.А. Носибов, А.Н. Печенов. ФТП, **22**, 201 (1988).
- [14] Н.К. Морозова, А.В. Морозова, И.А. Каретников, Л.Д. Назарова, Н.Д. Данилевич. ФТП, **28**, 1699 (1994).
- [15] А.М. Гуревич. *Введение в физическую химию кристаллофосфоров* (М., Высш. шк., 1982) с. 372.
- [16] Г.Е. Давидюк, А.П. Галушка, В.С. Манжара, Н.С. Богданюк. Изв. вузов СССР. Физика, N 2, 37 (1980).

Редактор В.В. Чалдышев

The influence of electron and neutron irradiation on spectra of orange luminescence of specially undoped and cooper-doped cadmium sulphide single crystals

G.E. Daviduk, V.S. Manzara, N.S. Bogdanuk, A.P. Shavarova, V.V. Bulatetskii

Lecya Ukrainka Volyn State University, 263009 Lutsk, the Ukraine