

**ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ ДИСПРОЗИЕМ
МОНОКРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА ИНДИЯ И ГАЛЛИЯ**

**А.Ш.АБДИНОВ, Н.М.МЕХТИЕВ*, Р.Ф.БАБАЕВА, Р.М.РЗАЕВ,
Р.М.ИСМАИЛОВ**

*Бакинский Государственный Университет
AZ1148, Баку, ул. З.Халилова, 23*

** Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия
AZ 1009, Баку, пр. Азадлыз №№№№*

Представлены результаты сравнительного исследования излучательных свойств специально нелегированных и легированных редкоземельным элементом диспрозием (Dy) в количестве $N_{Dy}=10^{-5}\div 10^{-1}$ ат. % монокристаллов селенида индия и галлия.

Изучены зависимости спектра и интенсивности свечения фотолюминесценции (ФЛ) InSe<Dy> и GaSe<Dy> от содержания вводимой примеси и температуры.

Полученные результаты объяснены на основе немонотонной зависимости степеней пространственной и структурной неоднородности изучаемых материалов, а также сил межслоевых связей в них от содержания вводимой примеси.

ВВЕДЕНИЕ

Монокристаллы полупроводниковых соединений A_3B_6 со слоистой структурой пригодные для создания различных источников люминесцентного излучения представляют большой научный и практический интерес, поэтому в последние годы помимо подробных исследований электронных свойств одновременно продолжается и поиск путей совершенствования структуры, а также методов управления параметрами и характеристиками этих материалов. С этой целью помимо других воздействий изучается и влияние легирования примесями редкоземельных элементов на их электронные свойства [1-4].

Представленная работа посвящена исследованию влияния примесей Dy на фотолюминесценцию в кристаллах InSe и GaSe, являющихся характерными представителями соединений A_3B_6 со слоистой структурой.

ОБРАЗЦЫ И ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Изучаемые образцы с необходимыми размерами (толщиной не более ~50мкм), срезались из выращенных методом Бриджмена крупных монокристаллических слитков InSe<Dy> и GaSe<Dy> с различным процентным содержанием диспрозия ($N_{Dy}=10^{-5}\div 10^{-1}$ ат. %).

Фотолюминесценция возбуждалась излучением непрерывного He-Ne лазера типа ЛГН-208Б ($\lambda=6328\text{Å}$) и импульсного лазера типа ЛГИ-21 ($\lambda=3371\text{Å}$) в кристаллах InSe и GaSe соответственно. Измерения проводились на установке, собранной на базе монохроматоров типа МДР-12У и МДР-23 с разрешениями не хуже ~1мэВ. Сигнал, поданный от приемников излучения на вход усилителя бокскар-интегратора PAR-160, после последовательного усиления и детектирования, записывался самопишущим потенциометром.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На Рис.1,а показаны характерные кривые спектров ФЛ монокристаллов селенида индия специально нелегированных и легированных диспрозием с различным процентным содержанием ($N_{Dy} = 10^{-5} \div 10^{-1}$ ат.%) при 77К. Как видно из этого рисунка, при рассмотренных условиях в специально нелегированных монокристаллах селенида индия в диапазоне длины волны $\lambda = 9000 \div 12400 \text{ \AA}$ генерируется фотолюминесценция с максимальной интенсивностью при $\lambda = 9380 \text{ \AA}$. Зависимость интенсивности линии излучения этого максимума в спектрах ФЛ монокристаллов селенида индия от содержания вводимой примеси носит немонотонный характер [5].

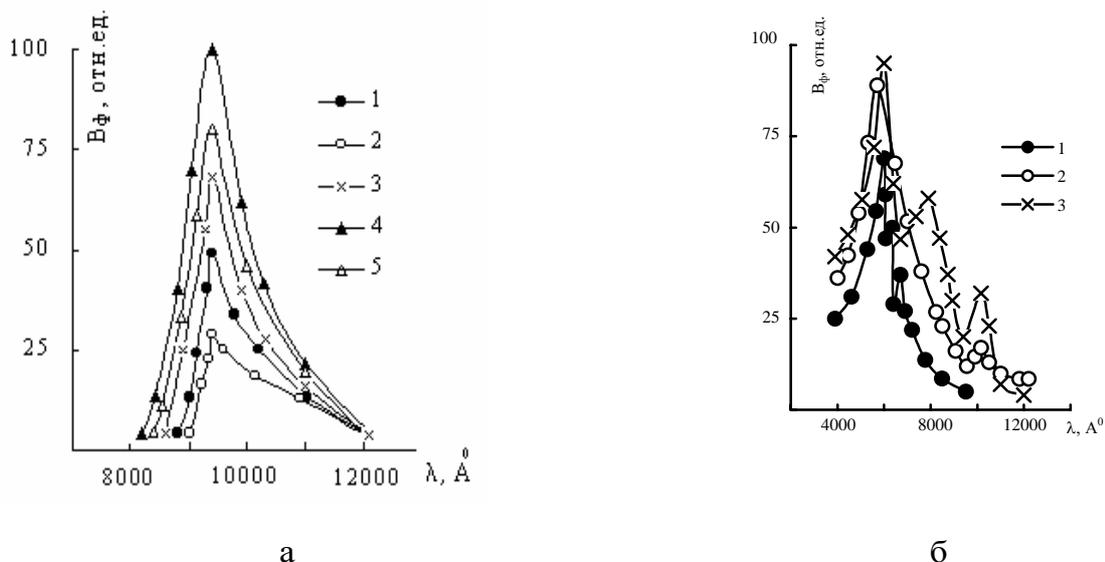


Рис.1.

Спектральное распределение фотолюминесценции в монокристаллах $InSe<Dy>$. ($T=77 \text{ K}$).

а - N_{Dy} , ат.%.: 1 - 0; 2 - 10^{-5} ; 3 - 10^{-4} ; 4 - 10^{-3} ; 5 - 10^{-2} .

б- N_{Dy} , ат.%.: 1 - 0; 2 - 10^{-3} ; 3 - 10^{-2} .

При прочих одинаковых условиях в кристаллах $InSe<Dy>$ с $N_{Dy} \leq 10^{-5}$ ат.% интенсивность фотолюминесценции (V_{ph}) заметно уменьшается относительно исходного (имеющего место в нелегированных специально кристаллах). При $10^{-5} < N_{Dy} \leq 5 \cdot 10^{-3}$ ат.% с ростом N_{Dy} интенсивность излучения сначала растет (до $N_{Dy} \approx 5 \cdot 10^{-3}$ ат.%), а далее (при $\sim 5 \cdot 10^{-3} < N_{Dy} \leq 10^{-1}$ ат.%) уменьшается. При этом (с ростом N_{Dy}) полуширина полосы фотолюминесценции сужается, а энергетическое положение максимума спектра фотолюминесценции в пределах ошибки измерения почти не меняется.

Спектры фотолюминесценции специально нелегированных монокристаллов селенида галлия содержат три ярко выраженные пика (при $\lambda_0 = 5900 \text{ \AA}$, $\lambda_1 = 6000 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 6100 \text{ \AA}$) (Рис.1,б, кривая 1).

При относительно малых концентрациях вводимой примеси ($N_{Dy} = 10^{-4} \div 10^{-3}$ ат.%) происходит изменение в спектральном распределении ФЛ и наблюдаются интенсивный (основной) пик в районе $\lambda_0 = 6000 \text{ \AA}$, две узкие полосы излучения в областях $\lambda_1 = 8000 \div 9000 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 10000 \div 10500 \text{ \AA}$ (Рис.1,б, кривая 2). На спектре фотолюминесценции монокристаллов $GaSe<Dy>$ с $10^{-3} < N_{Dy} \leq 10^{-2}$ ат.% наблюдались

один резкий пик в районе $\lambda_1=5500\text{\AA}$ и слабая полоса излучения в окрестности $\lambda_2=10000\text{\AA}$ (Рис.1,б, кривая 3).

При относительно больших N_{Dy} (при $N_{Dy}>10^{-2}\text{ат.}\%$) с ростом N_{Dy} интенсивность длинноволновой линии хоть и слабо, но все же увеличивается.

Для выяснения механизма передачи энергии ионам Dy^{+3} в монокристаллах селенида галлия нами с помощью излучения перестраиваемого импульсного лазера были сняты также спектры возбуждения линий фотолюминесценции (Рис.2). Выяснено, что наблюдаемый при этом в длинноволновой области спектра возбуждения резкий спад соответствует краю фундаментального поглощения селенида галлия. Изменение формы спектра возбуждения ФЛ в образцах GaSe при легировании Dy, видимо, обусловлено возбуждением носителей через уровни Dy, что приводит к смещению максимума спектра в коротковолновую область.

Из сопоставления спектров возбуждения линий фотолюминесценции со спектрами поглощения для изучаемых образцов, выяснилось, что в спектрах поглощения отсутствуют полосы, соответствующие резонансным полосам в спектрах возбуждения люминесценции легированных образцов. Это позволяет предполагать, что в исследуемых кристаллах наряду с эффективно люминесцирующими центрами существуют и «потушенные» центры, проявляющиеся только в спектрах поглощения.

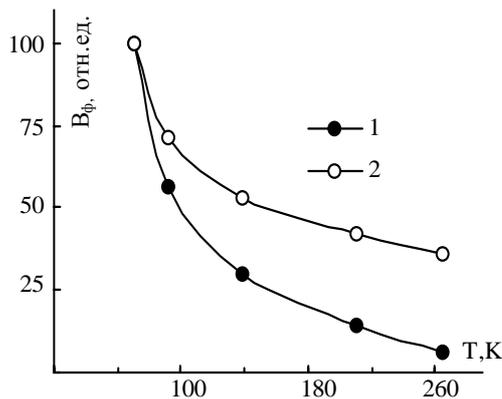


Рис.2.

Спектры возбуждения линии фотолюминесценции в монокристаллах GaSe<Dy>. (T=77K). N_{Dy} , ат.:%: 1 - 0; 2 - 10^{-4} .

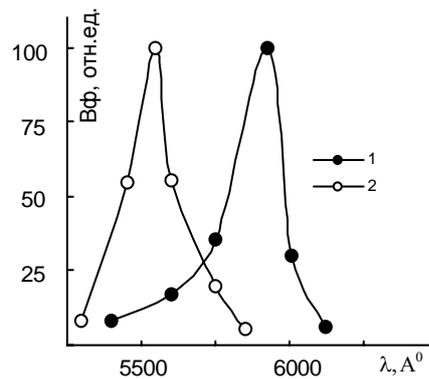


Рис.3.

Температурная зависимость фотолюминесценции в монокристаллах GaSe<Dy>. N_{Dy} , ат.:%: 1 - 0; 2 - 10^{-4} , $\lambda=\lambda_m$.

Длинноволновой хвост спектра ФЛ может объясняться влиянием неконтролируемых примесей с энергетической глубиной залегания до 0,2эВ от потолка валентной зоны. Хотя в пользу этого предположения свидетельствует и специфический ход температурной зависимости ФЛ (Рис.3), однако он может иметь и другой механизм.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных результатов позволяет сказать, что обнаруженная в кристаллах InSe<Dy> линия ФЛ излучения, как в нелегированных специально кристаллах InSe обусловлена тоже резонансным излучением свободного экситона [5]. Наиболее интенсивный узкий пик с $\lambda_0=5900\text{\AA}$ на спектре фотолюминесценции нелегированных специально кристаллов GaSe по своему энергетическому положению соответствует излучательному распаду прямых свободных экситонов с

$n=1$, а относительно слабый пик, обнаруженный при $\lambda_1=6000\text{\AA}$ – излучательному распаду непрямых свободных экситонов и при $\lambda_2=6100\text{\AA}$ – излучению с участием примесных состояний [6].

При легировании изучаемых монокристаллов селенида индия и галлия, ионы диспрозия, благодаря относительно небольшой разнице в радиусах между ним и атомов металлического компонента (индия, или галлия), могут войти как в естественные слои (замещая вакансии In, Ga или же занимая междоузлия), так и в межслойное пространство (в качестве интеркалянтов). В частности, при малых концентрациях (при $N_{Dy} \leq 10^{-5}$ ат%) примеси диспрозия накапливаются вокруг случайных скоплений исходных дефектов. Вследствие чего увеличиваются степени пространственной и структурной неоднородностей изучаемых кристаллов. Это приводит к уменьшению в них интенсивности краевой фотолюминесценции. При средних концентрациях легирования (при значениях $10^{-5} < N_{Dy} \leq 10^{-3}$ ат.%) ионы диспрозия уже начинают распределяться по всему объему кристалла и замещают внутри слоя вакансии элемента третьей группы (индия или галлия) соответственно. Вследствие этого, во-первых, уменьшается количество структурных дефектов вакансионного типа, во-вторых, занимающие вакансии двухвалентные атомы диспрозия, находясь в различных слоях, образуют между соседними слоями более сильные, по сравнению со связью Ван-дер-Ваальса, ковалентные связи. Это приводит к залечиванию структурных дефектов, так как ковалентные связи препятствуют сдвигу соседних естественных слоев относительно друг друга в процессе выращивания. Все это приводит к росту степени упорядоченности упаковки слоев монокристаллов селенида индия и галлия и, соответственно, к росту интенсивности краевого излучения (V_ϕ). С дальнейшим ростом N_{Dy} , избыточные атомы диспрозия начинают входить также в межслойное пространство, что приводит к ослаблению сил межслойных связей и обуславливает сдвиг соседних слоев относительно друг друга. В конечном результате это сказывается на уменьшении интенсивности люминесценции.

ВЫВОДЫ

Легирование примесями редкоземельного элемента Dy значительно влияет на яркость и спектр фотолюминесцентного излучения в монокристаллах соединений A_3B_6 со слоистой структурой.

Особенности фотолюминесценции в кристаллах $InSe<Dy>$ и $GaSe<Dy>$ могут удовлетворительно объясняться на основе введения атомов Dy как в естественные слои (в качестве примесей), так и межслойное пространство (в качестве интеркалянтов).

С ростом содержания вводимой примеси Dy в кристаллах A_3B_6 со слоистой структурой немонотонно меняются как силы межслойных связей, так и степень пространственной неоднородности изучаемых образцов.

1. А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, *Неорганические материалы*, **31** (1995) 896.
2. А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, *Неорганические материалы*, **31** (1995) 1020.
3. А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, М.А.Джафаров, Р.М.Рзаев, Н.А.Рагимова, *Неорганические материалы*, **35** (1999) 410.
4. Д.В.Корбутяк, М.Т.Иванейчук, В.Г.Литовченко, С.С.Ищенко, А.А.Климов, З.Д.Ковалюк, *ФТП*, **17** (1983) 1710.
5. Ю.П.Гнатенко, З.Д.Ковалюк, П.А.Скубенко, *УФЖ*, **27** (1982) 838.
6. Г.Л.Беленький, В.Н. Стопочинский, *УФН*, **140** (1983) 231.

**DISPROZİUMLA AŞQARLANMIŞ İNDİUM VƏ QALLİUM SELEN
MONOKRİSTALLARININ FOTOLÜMINESSENSİYASI**

Ə.Ş.ABDİNOV, N.M.MEHTİYEV, R.F.BABAYEVA, R.M.RZAYEV, R.M.İSMAYİLOV

İşdə $N_{Dy}=10^{-5} \div 10^{-1}$ at. % miqdarında disprozium nadir torpaq elementi ilə aşqarlanmış və təmiz (aşqarlanmamış) indium və qallium selen monokristallarının şüalandırma xassələrinin müqayisəli tədqiqinin nəticələri şərh olunmuşdur.

Təcrübi olaraq InSe<Dy> və GaSe<Dy> monokristallarında fotoluminessensiyanın spektrinin və şüalanma parlaqlığının daxil edilən aşqarın miqdarından və temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir.

Alınmış nəticələr tədqiq olunan materialların fəza və struktur qeyri-birjinsliklərinin, eləcə də onlarda laylararası əlaqə qüvvələrinin daxil edilən aşqarın miqdarından qeyri-monoton asılılığı əsasında izah edilir.

**PHOTOLUMINESCENCE OF INDIUM AND GALLIUM SELENIDE
MONOCRYSTALS DOPED BY DISPROZİUM**

A. Sh. ABDINOV, N.M.MECHTIEV, R.F. BABAYEVA, R.M. RZAYEV, R.M.ISMAILOV

The results of comparative investigation of irradiative properties of the InSe and GaSe specially indoped and doped by rare elements of Dy with $N_{Dy}=10^{-5} \div 10^{-1}$ at. % monocrystals were reported.

The dependences of spectrum and intensity of a photoluminescence (PL) of the InSe <Dy> and GaSe <Dy> on the contents of an entered impurity and temperature were investigated.

The obtained results were explained on the basis of nonmonotonous dependence of spatial and structural nonhomogeneity degrees of the investigated materials, and also forces of interlayer connections in them on the contents of an entered impurity.

Редактор: А.Гарибов