

могут быть использованы для создания на основе аморфных гетероструктур различных элементов памяти, а также сред для записи оптической информации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] О к и м у р а Н. // Jap. J. Appl. Phys. 1968. V. 7. N 10. P. 1297-1298.
- [2] Ч у г у н о в а М.Е., Е л и с о н М.И., Ж д а н А.Г. // ФТТ. 1969. Т. 11. С. 1072-1074.
- [3] О к а н о S., S u z u k i M., I m u r a T., Н u r a k i A. // Jap. J. Appl. Phys. 1985. V. 24. N 6. P. 445-448.

Институт прикладной физики
АН Молдовы

Поступило в Редакцию
10 ноября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 3

12 февраля 1991 г.

05.1; 05.2

© 1991

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СОЕДИНЕНИЙ РЗЭ НА ОПТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ЭКСИТОНОВ В КРИСТАЛЛАХ *InSe*

Н.А. Р а г и м о в а, С.З. Д ж а ф а р о в а,
Г.И. А б у т а п ы б о в

Несмотря на то что в слоистых кристаллах было получено индуцированное излучение [1], по сей день, из-за дефектности (вакансии, смещение слоев относительно друг друга, поры и т.д.) слоистых полупроводников всевозможные попытки использования их в качестве активного элемента в квантовой электронике не увенчались успехом. В этой связи особый интерес представляет проблема совершенствования кристаллической структуры слоистых полупроводников, в частности активированием ионами редкоземельных элементов (РЗЭ), поскольку, согласно существующим литературным данным, легирование лишь металлом не может привести к решению поставленной проблемы. Подтверждением этому могут явиться наши исследования влияния различных родов примесей (*Sn*, *Fe* и др.) на люминесцентные свойства *GaSe*.¹

Предлагаемая работа посвящена исследованию влияния соединений РЗЭ на экситонные состояния по мере роста их концентрации в кристаллах *InSe* при различных плотностях возбуж-

¹ Об этом будет сообщено дополнительно.

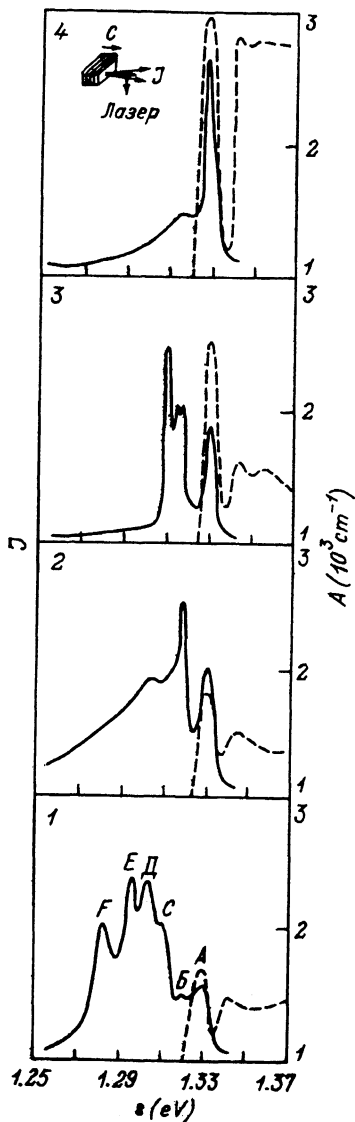


Рис. 1. Спектры поглощения J (пунктирная линия) и излучения AJ (сплошная линия) монокристаллов $InSe$ „чистого“ и легированного Ho . 1 - „чистый“ $InSe$, 2 - $n = 10^{-5}$ ат%, 3 - $n = 10^{-2}$ ат. %, 4 - $n = 0.2$ ат. %.

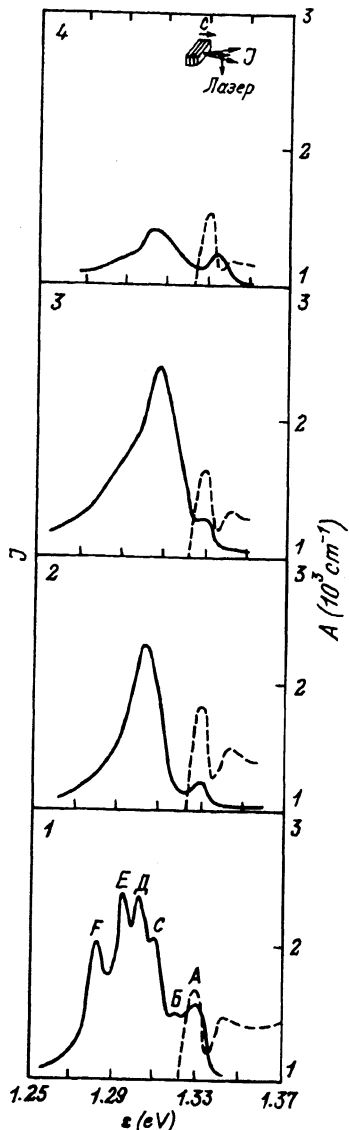


Рис. 2. Спектры поглощения (пунктирная линия) и излучения (сплошная линия) монокристаллов $InSe$ „чистого“ и легированного ионами Au . 1 - „чистый“ $InSe$, 2 - $n = 10^{-5}$ ат.%, 3 - $n = 10^{-4}$ ат.%, 4 - $n = 0.005$ ат. %.

дения и временах задержки, поскольку экситонные спектры могут явиться замечательным индикатором в определении совершенства монокристаллов.

Эксперименты проводились на монокристаллах *InSe* с различным содержанием соединений *Ho* и *Au*, выращенных модифицированным методом Бриджмена-Стокбаргера. РЗ соединения вводились в процессе роста кристаллов, концентрация которых варьировалась в пределах 10^{-5} – 0.2 ат. %. Все измерения по исследованию спектров поглощения и излучения проведены при температуре 1.8 К.

На рис. 1 и 2 приведены спектры поглощения и люминесценции монокристаллов *InSe*, „чистого“ и легированного ионами *Ho* и *Au* при 1.8 К. Полученные нами спектры для „чистого“ *InSe* содержат те же компоненты, что и спектры, приведенные в [2], часть этих компонентов (С, Д, Е) оказываются лучше выраженными. Энергетические положения наблюдаемых линий люминесценции следующие: А – 1.332 эВ, Б – 1.322 эВ, С – 1.310 эВ, Д – 1.302 эВ, Е – 1.295 эВ, К – 1.281 эВ. Совпадение энергетических положений линий люминесценции А и максимума экситонного поглощения свободных экситонов при 1.8 К, указывает на то, что эта линия излучения связана с резонансной аннигиляцией свободных экситонов. Группа же интенсивных линий, наблюдаемых в области энергий 1.322–1.230 эВ, вероятно, соответствует рекомбинационному излучению связанных экситонов, обусловленных различными родами дефектов.

Из представленных результатов видно, что влияние *Ho* и *Au* на оптические спектры *InSe* существенно различаются, поскольку линии излучения связанных экситонов при легировании ионами *Au* значительно шире, а значение интенсивности излучения свободных экситонов практически не меняется. Поэтому, на наш взгляд, исходя из вышесказанного, целесообразнее подробно остановиться на спектрах *InSe*, активированных соединением *Ho*.

Анализ спектральной зависимости интенсивности излучения от уровня легирования образцов ($n = 10^{-5}$ – 0.2 ат. %) показало, что изменение концентрации сильно сказывается на форме спектральных кривых. Так, введение ионов *Ho* малых концентраций ($\sim 10^{-5}$ ат. %), (рис. 1, кривая 2) приводит к уменьшению интенсивности в области широкой полосы, перераспределению и угасанию линий Е и К. При возрастании *Ho* до 10^{-2} ат. % (рис. 1, кривая 3) линии излучения Е и К полностью исчезают, и в области энергий 1.310–1.318 эВ хорошо обнаруживаются интенсивные узкие линии. Отметим, что при введении соединения гольмия с $n = 0.2$ ат. % в длинноволновом (ДЛ) крыле спектра остается незначительный размытый максимум излучения, сформированный неразрешенными фоновыми спутниками А и Б [2].

Природа неразрешаемой в области ниже 1.302 эВ (рис. 1, кривая 2), полосы излучения в настоящее время не до конца изучена. Экспериментальные исследования показали, что с ростом плотности возбуждения эта широкая полоса излучения становится ярче

выраженной и наблюдаются коротковолновые, а с увеличением времени задержки момента регистрации относительно возбуждающего импульса длинноволновые сдвиги его, что однозначно свидетельствует в пользу того, что наблюдаемая полоса обусловлена комбинацией через донорно-акцепторные пары (ДАП) [3]. Важно отметить, что введение соединения с гольмием способствует получению также весьма интенсивного излучения свободных экситонов, достигающего наибольшего значения при $n = 0,2$ ат. %.

Таким образом, довольно сильное увеличение интенсивности линии излучения свободных экситонов (более, чем в семь раз по сравнению с „чистым“ *InSe*) и значительное падение интенсивности длинноволновой полосы позволяют утверждать, что легирование *InSe* ионами *Ho* „залечивает“ структурные дефекты, обусловленные вакансиями селена и индия. Параллельно вследствие обменного взаимодействия между ионами расположенных в ближайших пакетных подслоях соседних слоев [4], межслоевое взаимодействие усиливается (доказательством чему явилось увеличение механической прочности кристалла), т.к. число упаковочных дефектов, связанных со смещением слоев относительно друг друга, сокращается.

Интерпретация полученных результатов в хорошем соответствии с моделью локального образования РЗ иона в слоистых кристаллах [4].

Нашими исследованиями установлено, что среди многочисленных соединений РЗЭ соединения с *Ho* представляют особый интерес, выбор оптимальной концентрации которого позволяет добиться максимально возможного совершенства слоистых монокристаллов, благодаря чему слоистые полупроводники, активированные ионами гольмия, могут быть использованы в качестве активного элемента в квантовой электронике.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Басов Н.Г., Богданкевич О.В., Печенов А.Н., Абдуллаев Г.Б., Ахундов Г.А., Сапаев Э.Ю. // ДАН СССР. 1965. Т. 161. В. 5. С. 1059.
- [2] Бакуменко В.Л., Ковалюк З.Д., Курбатов Л.Н., Чишко В.Ф. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 7. С. 1246-1250.
- [3] Закс Е., Гальперин А. // Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1973. Т. 37. В. 3. С. 551-555.
- [4] Джафарова С.З., Рагимова Н.А., Абуталыбов Г.И. // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т. 52. В. 1. С. 691-693.

Поступило в Редакцию
5 сентября 1990 г.
В окончательной редакции
20 ноября 1990 г.