

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ $\text{CuXTe}_2$ (X – In, Ga) В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ

И.В. БОДНАРЬ, Н.П. СОЛОВЕЙ, А.П. МОЛОЧКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
33770011@mail.ru*

Изучена возможность формирования наночастиц тройных полупроводниковых соединений  $\text{CuInTe}_2$ ,  $\text{CuGaTe}_2$  в силикатных стеклах системы  $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$ . Показано, что при введении в состав стекла указанных соединений получены наноструктуры хорошего оптического качества. Исследовано оптическое поглощение низкоразмерных структур в видимой и ближней ИК областях спектра. Особенности спектров объясняются изменением типа кристаллической решетки сформированных наночастиц.

*Ключевые слова:* наночастицы, полупроводники, стеклянная матрица, квантово-размерный эффект.

Тройные полупроводниковые соединения  $\text{CuInTe}_2$ ,  $\text{CuGaTe}_2$  являются перспективными материалами для различных устройств твердотельной электроники. Однако, прикладные возможности этих материалов значительно расширяются при переходе к нанобъектам, сформированных в различных средах. Вследствие пространственного ограничения движения квазичастицы экситона в таких материалах появляются новые размерно-зависимые свойства (двухфотонное поглощение, эффект квантования и т.д.), что вызывает значительный научный и практический интерес.

Возможность формирования наночастиц  $\text{CuInTe}_2$ , в силикатном стекле показана нами ранее [1, 2]. Изучены условия синтеза, характер локализации, размеры, структура и оптические свойства наночастиц. Соединение  $\text{CuGaTe}_2$  по сравнению с  $\text{CuInTe}_2$  имеет более высокую температуру плавления 1145 К (для  $\text{CuInTe}_2$  – 1060 К), температуру фазового перехода халькопирит-сфалерит 1050 К (для  $\text{CuInTe}_2$  – 950 К). Ширина запрещенной зоны ( $E_g$ ) равна 1,25 эВ для  $\text{CuGaTe}_2$  (для  $\text{CuInTe}_2$  – 0,96 эВ). Сведений об формировании наночастиц соединений  $\text{CuGaTe}_2$  в матрице стекла не обнаружено.

В настоящей работе представлены результаты исследований условий формирования наночастиц полупроводникового соединения  $\text{CuGaTe}_2$  в силикатном стекле, а также изучены их спектральные свойства. В то же время проведен сравнительный анализ спектральных свойств наночастиц  $\text{CuInTe}_2$ ,  $\text{CuGaTe}_2$  в силикатной матрице.

В качестве стеклянной матрицы использовали систему  $\text{SiO}_2\text{-CaO-R}_2\text{O}$  (R – Li, Na, K). Кристаллический  $\text{CuGaTe}_2$  синтезировали из элементов двухтемпературным методом при температуре 1170 К с последующим длительным (в течение 240 ч.) гомогенизирующим отжигом, халькопиритная кристаллическая структура идентифицирована рентгенографически.

Формирование стекол с наночастицами  $\text{CuGaTe}_2$  осуществляли таким же методом, что и для соединения  $\text{CuInTe}_2$ , а именно, путем введения предварительно синтезированного соединения (0,75 мас.%) в стеклообразующую смесь указанных компонентов, высокотемпературного плавления (~1650 К) в восстановительной атмосфере и быстрого охлаждения. Об образовании наночастиц в стекле свидетельствовало появление характерной окраски (исходные стекла бесцветны). Результаты ранее проведенных ЭМ исследований стекол, содержащих НЧ  $\text{CuInTe}_2$ , синтезированных таким же методом, подтверждают выделение нанокристаллической фазы. Частицы имеют форму, близкую

к сферической, расположены, в основном, изолированно, но в ряде случаев образуют цепочки и небольшие агрегаты, средний размер их находится в пределах 15-30 нм. Предполагается, что сформированные наночастицы  $\text{CuGaTe}_2$  имеют такие же размеры.

Спектральными исследованиями установлено, что край полосы собственного поглощения таких материалов находится в области 0,6-1,6 мкм (рис. 1, а). В целом, спектры пропускания представляют пологие кривые с невысоким пропусканием (60 %).

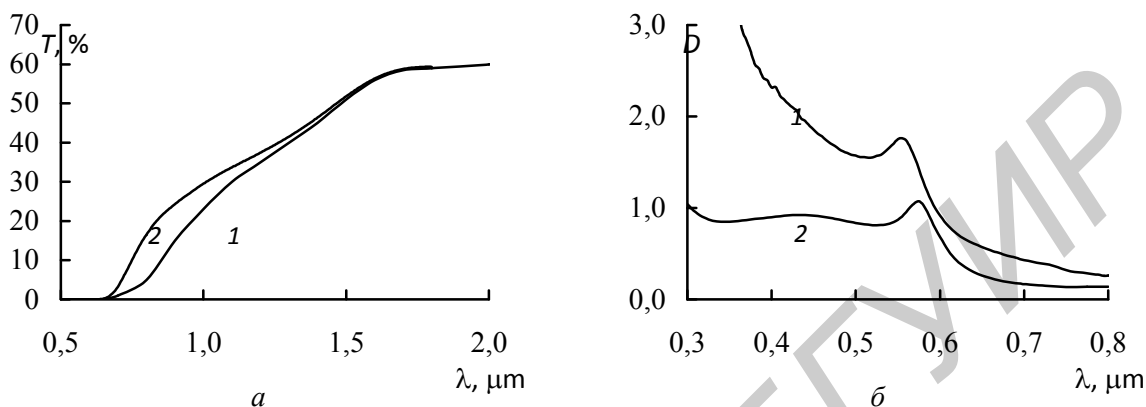


Рис. 1. Спектры пропускания (а) и спектры поглощения (б) стекол с наночастицами:  
1 –  $\text{CuInTe}_2$ ; 2 –  $\text{CuGaTe}_2$

В стеклах с НЧ  $\text{CuInTe}_2$  на спектральной кривой выраженных максимумов не обнаружено, что свидетельствует о том, что при переходе к наночастицам зонная структура не изменяется. Напротив, для стекол с наночастицами  $\text{CuGaTe}_2$  на спектральной кривой обнаружен слабо выраженный максимум в области 850 нм. Следует отметить, что спектральные кривые в обоих случаях существенно смещены в область высоких энергий по сравнению с массивным материалом.

В видимой области на спектрах оптической плотности (рис. 1, б) установлен максимум в области 560-570 нм, который при переходе к НЧ  $\text{CuGaTe}_2$  смещается в сторону длинных волн. Наблюдаемые на спектрах в видимой области максимумы можно отнести к проявлению экситонного перехода ( $1s-1s$ ) в наночастицах, характерного для частиц с размерным эффектом. Высокоэнергетический сдвиг спектральной кривой и увеличение  $E_g$  может быть обусловлено образованием нанопазы с кубической решеткой (типа сфалерита). Рентгеновское исследование, проведенное нами ранее, указывает на такую возможность для этого класса соединений. В сфалеритной структуре с более высокой симметрией решетки плотность экситонных состояний ожидается выше, чем в халькопиритной, и существует вероятность вырождения ряда уровней, что сопровождается появлением экситонных максимумов на кривых оптической плотности. В то же время структура после синтеза стекол может не отвечать равновесному состоянию, что приводит к появлению дополнительных полос поглощения, в частности, слабо выраженного максимума в области 450 нм в видимой области (рис. 1, б, кривая 2) и в области 850 нм на ИК спектрах (рис. 1, а, кривая 2).

Разработанные материалы могут быть использованы для создания оптических фильтров и нелинейно-оптических элементов ближней ИК области.

#### Список литературы

1. Боднарь И.В., Гурин В.С., Соловей Н.П. и др. // ФТП. 2007. т. 41. вып. 8. С. 959–964.
2. Боднарь И.В., Гурин В.С., Соловей Н.П. и др. // Докл. БГУИР. 2010. № 4(50). С. 23–27.