

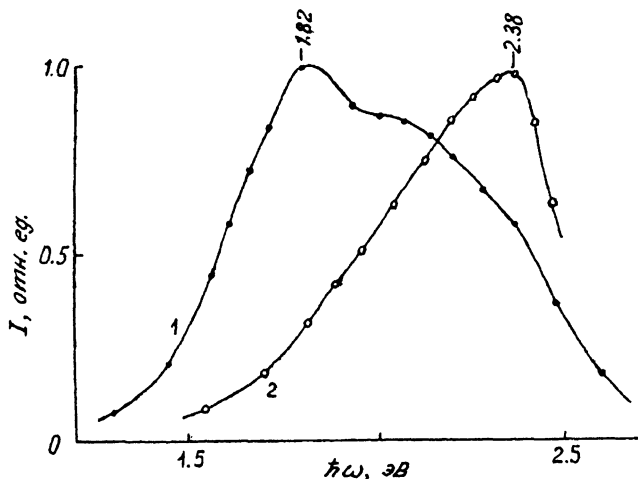
06;07;12

## ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ АНОДНО-ТРАВЛЕННОГО ДИСЕЛЕНИДА МЕДИ И ИНДИЯ

© А.А.Лебедев, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь

Диселенид меди и индия  $\text{CuInSe}_2$  ( $E_G = 1.02$  эВ при 300 К) является перспективным материалом для применения в тонкопленочных солнечных элементах, использующих отдельный гетеропереход либо многопереходные тандемные элементы [1-3]. В связи с этим одной из центральных задач в реализации уникальных возможностей этого полупроводника является создание эффективных широкополосных гетероструктур. В настоящей работе было исследовано влияние анодного травления на люминесцентные свойства  $\text{CuInSe}_2$ . Этот интерес стимулировался доказанной на кремнии возможностью получения эффективной люминесценции в видимом спектральном диапазоне [4]. Очевидно, что расширение круга подвергнутых этому технологическому виду обработки материалов может способствовать продвижению в решении вопроса о природе наблюдаемых изменений в люминесцентных свойствах кремния.

В качестве исходного материала для анодного травления были использованы электрически однородные монокристаллические пластинки  $\text{CuInSe}_2$  с произвольной кристаллографической ориентацией и концентрацией свободных дырок  $p \simeq 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  при 300 К. Монокристаллы выращивались направленной кристаллизацией расплава с практически стехиометрическим составом при вертикальном расположении кварцевого тигля, внутренняя поверхность которого для исключения реакции расплава с материалом тигля была покрыта слоем пиролитического углерода. Средние размеры пластин были  $5 \times 5 \times 1$  мм. Омический контакт с одной из поверхностей пластины осуществлялся путем напайки чистого индия на предварительно покрытую медью плоскость, тогда как противоположная плоскость приводилась в контакт с раствором состава 2 ч.  $\text{HF} + 3$  ч.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 0.1$  ч.  $\text{HNO}_3$  и через такую систему пропусклся ток с плотностями от 20 до  $150 \text{ мА/см}^2$  в течение 40-120 мин. По завершению травления пластины промывали в деионизованной воде и сушили. Как и в случае подобной обработки кремния, на поверхности пластин  $\text{CuInSe}_2$  в месте контакта с травителем возникал слой с диффузной поверхностью, окраска которого в зависимости от условий травления и



Спектральные зависимости фотолюминесценции анодизированных слоев на подложках  $p\text{-CuInSe}_2$  при  $T = 300$  К. Кривые: 1 — образец 7р, 2 — 17р.

свойств кристалла менялась от черного до белого цвета. Слои имели достаточно хорошую адгезию с подложкой.

При возбуждении анодизированных слоев в области температур 80–300 К излучением аргонового или гелий-кадмиевого лазеров возникало свечение, которое визуально воспринималось так, что цвет его менялся от оранжевого до бело-зеленого в различных слоях. Окраска излучаемого света свидетельствует о его проявлении в широком спектральном диапазоне. На рисунке приведены типичные примеры спектральных зависимостей стационарной фотолюминесценции анодизированных слоев  $\text{CuInSe}_2$  при  $T = 300$  К. Видно, что люминесценция доминирует в области энергий фотонов, которые существенно превышают ширину запрещенной зоны исходных кристаллов  $E_G \approx 1.02$  эВ при  $T = 300$  К [5]. В этом отношении влияние анодного травления на излучательные свойства тройного соединения подобно установленному ранее на кремнии [6]. Как и в случае кремния, спектральные характеристики фотолюминесценции оказываются чувствительными к режимам травления. В представленных на рисунке примерах видно, что положение максимума полосы фотолюминесценции может изменяться в довольно широких пределах, тогда как спектральный диапазон свечения остается достаточно близким. Обращает на себя внимание большая ширина полос фотолюминесценции на их полувысоте, что свидетельствует о сложной структуре центров свечения, в состав которых входит несколько типов центров, и из-за этого происходит на-

ложение нескольких полос. На спектральной зависимости образца 7p (кривая 1) можно различить, как минимум, три различных полосы с максимумами при 1.82, 2.0 и 2.3 эВ.

Таким образом, анодное травление кристаллов  $\text{CuInSe}_2$  вызывает образование широкозонных слоев, обладающих фотолюминесценцией в видимом спектральном диапазоне в виде широких полос. Можно ожидать, что образующиеся слои найдут применение в качестве широкозонной компоненты при создании оптоэлектронных устройств на основе кристаллов  $\text{CuInSe}_2$ .

Работа выполнена в рамках программы "Физика твердотельных наноструктур".

### Список литературы

- [1] *Mickelson R.A., Chen W.S.* // Proc. 16th Photovoltaic Specialists Conf. San Diego C.A. IEEE. New York. 1982. P. 781.
- [2] *Birkmire R.W., Philips J.E., Di Netta L.C., Meakin J.Q.* // Proc. 6th Commission of the European Communities Conf. on Photovoltaic Solar Energy. London, 1985.
- [3] *Copper Indium Diselenide for Photovoltaic Applications.* / Ed by T.J. Coutts, L.L. Kazmerskii, S. Wagner. / Elsevier. Amsterdam, 1986. 640 p.
- [4] *Canham L.T.* // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. P. 1056.
- [5] *Магомедов М.А., Рудь Ю.В.* // ФТП. 1993. Т. 27. С. 245.
- [6] *Астрова Е.В., Лебедев А.А., Ременюк А.Д., Рудь Ю.В.* // ФТП. 1994. Т. 28. С. 493.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе РАН  
С.-Петербург  
Государственный  
технический университет  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
5 апреля 1996 г.