

Л. Ф. КОВАЛЕНКО, В. В. СЕВАСТЬЯНОВ,  
к. ф.-м. н. В. С. ХОМЧЕНКО, Ю. А. ЦЫРКУНОВ

Украина, г. Винница, НИИ «Гелий»;  
г. Киев, СКТБ ИФП им. В. Е. Лашкарёва  
E-mail: helium@svitonline.com

Дата поступления в редакцию  
29.08 2008 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН  
(ЦКБ «Ритм», г. Черновцы)

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СТРУКТУР НА БАЗЕ ПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Получены и исследованы катодолюминесцентные структуры с яркостью свечения до  $1000 \text{ кд/м}^2$  на пленках толщиной 7–9 мкм, на базе которых могут быть созданы средства отображения информации с высокой разрешающей способностью.*

Средства отображения информации с использованием эффекта катодолюминесценции, т. е. свечения люминесцентного материала, широко применяются в бытовой и специальной технике [1]. Однако получение катодолюминесцентных (КЛ) структур для мониторов малого размера, например для электронно-оптических преобразователей, с повышенными требованиями к разрешающей способности является проблематичным в связи с отсутствием эффективных порошковых и пленочных катодолюминофоров (КЛФ) для серийного производства [2–5].

Целью настоящей работы была разработка технологического маршрута и подбор технологических режимов изготовления пленочных КЛФ, а также их исследование, с учетом результатов, полученных в [6, 7].

Основными этапами разработанной технологии являются электронно-лучевое напыление в вакууме пленок ZnS:Cu и их дальнейший отжиг с одновременным легированием Ga в атмосфере серы для получения структур ZnS:Cu.Ga или в атмосфере кислорода для получения структур ZnO:Cu.Ga. Толщина напыленных на сапфировые подложки пленок ZnS:Cu составила 7–9 мкм. Весовая доля Cu в мишенях менялась от 0,06 до 0,12%. Отжиг проводился в диапазоне температур 700–800°C. Легирование пленок осуществлялось термическим испарением галлия из кварцевого тигля. Необходимую при отжиге и легировании атмосферу обеспечивали специально подобранные порошковые смеси. После отжига на КЛ-структуры вакуумным напылением наносился слой Al толщиной 0,1 мкм.

На рис. 1 схематически показано устройство, которое применялось для легирования полученных пленок во время отжига методом испарения Ga с близкого расстояния при атмосферном давлении.

Было установлено, что пленки ZnS:Cu.Ga и ZnO:Cu.Ga после отжига под воздействием ультрафиолетового излучения приобретают фотолюминесцентные свойства в зеленой области спектра. Этот эффект был использован для первичной отбраковки

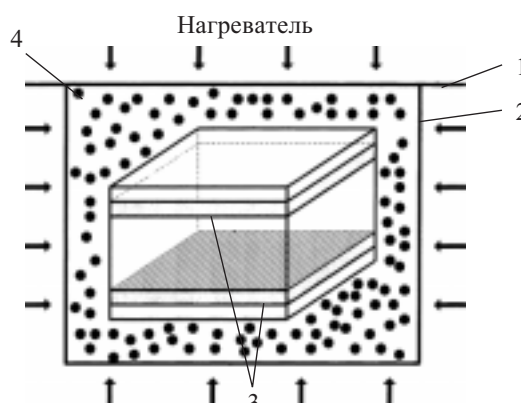


Рис. 1. Схема устройства для легирования пленок методом испарения:

1 — кварцевая пластина; 2 — кварцевый тигель; 3 — материал для легирования; 4 — порошковая смесь

КЛ-структур путем проверки однородности свечения образцов до напыления пленки алюминия.

Определение взаимосвязи между технологическими режимами и структурными параметрами КЛФ проводилось с помощью рентгеновского дифрактометра «Дрон-4», а исследование морфологии поверхности — на сканирующем зондовом микроскопе Nanoscope D3000. На рис. 2 представлены результа-

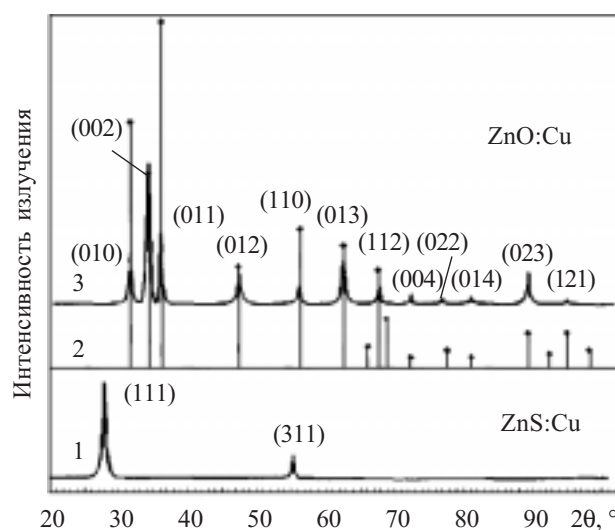


Рис. 2. Результаты рентгено-дифракционных исследований пленок ZnS:Cu (1), ZnO:Cu (3), нанесенных на сапфировые подложки, и порошка ZnO (2)

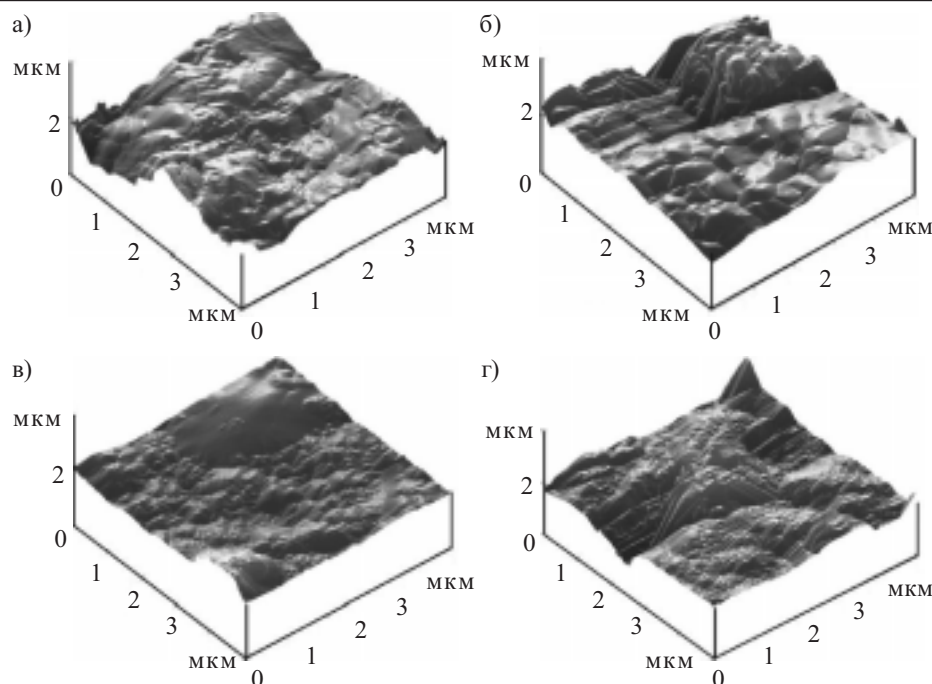


Рис. 3. Морфология поверхности исследуемых пленок:

*a* — ZnS:Cu после отжига в атмосфере S; *б* — ZnS:Cu.Ga после отжига в атмосфере S с одновременным легированием Ga; *в* — ZnO:Cu после отжига в атмосфере O<sub>2</sub>; *г* — ZnO:Cu.Ga после отжига в атмосфере O<sub>2</sub> с одновременным легированием Ga

ты рентгено-дифракционных исследований пленок ZnS:Cu и ZnO:Cu, а также порошка ZnO. Из рисунка видно, что после отжига в атмосфере, обогащенной серой, пленки ZnS:Cu имеют кристаллическую структуру сфалерита с ориентацией преимущественно  $\langle 111 \rangle$ . Структура пленок ZnO:Cu — вюрцит с ориентацией преимущественно  $\langle 001 \rangle$ . Кристаллическая структура порошка ZnO также вюрцит и, в достаточной мере, она подобна структуре пленки ZnO:Cu. Это подтверждает предположение о том, что в процессе отжига пленки ZnS:Cu в атмосфере, содержащей кислород, при температуре около 800°C происходит как изменение ее кристаллической структуры, так и преобразование пленки в ZnO:Cu. Исследования показали, что легирование галлием не изменяет структуру ни пленок ZnS:Cu, ни пленок ZnO:Cu.

Изображения поверхностей исследуемых пленок, полученные на сканирующем микроскопе, представлены на **рис. 3**.

Установлено, что до отжига пленки ZnS:Cu толщиной более 7—9 мкм состоят из зерен размером 150—300 нм, отжиг в атмосфере, содержащей серу, приводит к их увеличению до 750 нм, а отжиг с одновременным легированием Ga — к увеличению до 1 мкм.

Как видно на рис. 3, *в*, поверхность пленок ZnO:Cu очень неоднородна. Здесь доминируют зерна размером 350—500 нм, однако встречаются и большие, размером до 2 мкм. Отжиг с одновременным легированием Ga приводит к появлению, в основном, зерен размером около 1,2 мкм, но наблюдаются также зерна размером от 1,5 до 3 мкм, а на поверхности

крупных зерен размещаются малые, размером около 80 нм. Исследования показали, что причиной образования малых зерен является реакция взаимодействия между ZnS и загрязнениями атмосферы, в которой проводился отжиг.

При исследовании спектральных характеристик было установлено, что для структур ZnS:Cu.Ga максимум спектра КЛ-структур находится в зеленой области на 530 нм, а для ZnO:Cu.Ga — на 520 нм. Яркость свечения КЛ-структур при плотности тока возбуждения 50 мкА/см<sup>2</sup> составила для пленок ZnS:Cu.Ga около 200 кд/м<sup>2</sup>, для ZnO:Cu.Ga — около 1000 кд/м<sup>2</sup>.

\*\*\*

В процессе проведения настоящей работы были получены и исследованы

катодолуминесцентные структуры с яркостью свечения до 1000 кд/м<sup>2</sup> на пленках толщиной 6—8 мкм. Полученные экспериментальные данные позволяют рассматривать возможность создания конкурентоспособных мониторов с высокой разрешающей способностью на базе применения серийной пленочной технологии.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Беляев В. Современные электронные дисплеи // Электронные компоненты. — 2002. — № 1. — С. 24—28.
2. Беляев В. Дисплеи на основе эффектов катодолуминесценции // В кн.: Дисплеи 1990 годов. — М.: Рос. отд. общества информ. дисплеев. — 2005. — С. 12—20.
3. Михайлова С. П., Тимофеева Т. М., Кораблёв Н. М. Разработка новых люминофоров для электронно-оптических преобразователей // Сб. научных трудов ВНИИ люминофоров. — Ставрополь. — Вып. 39. — 1990. — С. 45—50.
4. Мироненко В. М., Подлужный В. В. Современное состояние и перспективы разработки люминофоров для цветного телевидения и цветных дисплеев // Там же. — Вып. 38. — С. 7—20.
5. Givargizov E. I., Zadorozhnaya L. A., Stepanova A. N., Galstyan V. G. Phosphors with columnar structure // Book of Ext. Abstr. 5 Inter Conf. on the Science and Technology of Display Phosphors. — San Diego, California. — 1999. — P. 301—305.
6. Byng Soo Leon, Jae Soo Yoo, Jong Duk Lee. The effects of growth conditions on the luminescence of ZnO:Zn thin film phosphor grown by MOCVD // Proc. 4-th Inter Conf. on the Science and Technology of Display Phosphors. — Bend, Oregon, U.S.A. — 1998. — P. 14—17.
7. Khomchenko V. S., Rodionov V. P., Pekar G. S. et al. Fabrication and cathodoluminescent properties of the ZnO—Cu, Ga and ZnS—Cu, Ga film phosphor // Journal of the SID. — 2003. — № 11/1. — P. 21—25.