

07;11;12

## Характеристики излучения тонкопленочных электролюминесцентных источников на базе нанокompозитных пленок ZnSe

© Р.Г. Валеев,<sup>1,2</sup> А.Н. Бельтюков,<sup>1,2</sup> В.М. Ветошкин,<sup>2</sup> Э.А. Романов,<sup>2</sup> А.А. Елисеев<sup>3</sup><sup>1</sup> Физико-технический институт УрО РАН,  
42600 Ижевск, Россия<sup>2</sup> Удмуртский государственный университет,  
426034 Ижевск, РоссияМосковский государственный университет им. Ломоносова,  
119991 Москва, Россия

e-mail: valeev@lasas.fti.udm.ru

(Поступило в Редакцию 15 сентября 2010 г.)

Представлен подход к созданию электролюминесцентных устройств, в которых впервые применен рабочий слой из селенида цинка в нанокompозитном (нанокристаллит в аморфной матрице) состоянии. В отличие от классических тонкопленочных электролюминесцентных источников, для получения излучения с заданной длиной волны в предлагаемых устройствах не требуется легирование рабочего слоя примесями. Для опытного образца устройства исследованы вольт-амперная характеристика и импеданс электролюминесцентного конденсатора. Представлен также спектр электролюминесценции, который имеет максимум при длине волны 335 nm.

### Введение

Тонкопленочная электролюминесценция, характеризующаяся быстрым временем отклика, высокой яркостью и равномерностью свечения, а также широким углом излучения, играет важную роль при создании устройств отображения информации (дисплеев) [1]. Но к сожалению, несмотря на все усилия исследователей, получить высокоэффективные электролюминесцентные источники белого света пока не удается.

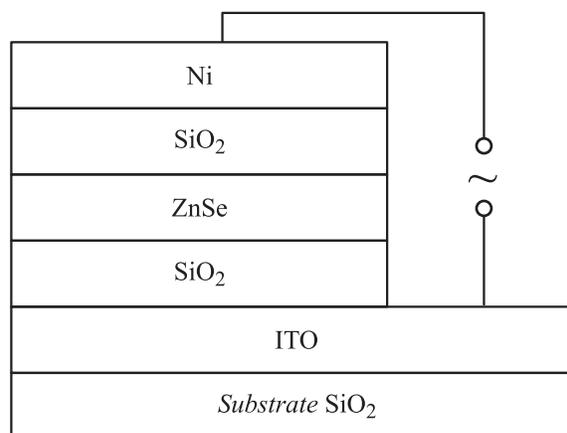
В настоящее время перспективы развития оптических материалов во многом связаны с высокоэффективными источниками люминесценции на основе широкозонных полупроводниковых соединений  $A^{IV}B^{VI}$ , обладающих уникальными электронными свойствами [2,3]. При этом одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений является разработка высокоэффективных твердотельных источников белого света с малым потреблением энергии.

В данной работе получен опытный образец электролюминесцентного источника, изготовленный по технологии тонкопленочных электролюминесцентных излучателей (ТПЭЛИ). Основное отличие от классических ТПЭЛИ, в которых в качестве рабочего слоя используются поликристаллические тонкие пленки, — это использование в качестве рабочего слоя (электролюминофора) нанокompозитной пленки селенида цинка. Уникальные, по сравнению с обычными пленками, свойства таких нанокompозитов (в частности, аморфно-нанокристаллический состав [4]) позволяют использовать их без легирования. В классических ТПЭЛИ легирование, например, марганцем или медью позволяет создать гетеропереходы типа узкозонный полупроводник—широкозонный полупровод-

ник (например,  $Cu_xS-ZnS$ ) [5]. В случае аморфно-нанокристаллического композита роль узкозонного полупроводника играет нанокристаллит, а широкозонного — аморфная матрица. В зависимости от количества и размера нанокристаллитов в аморфной матрице материала можно получить разное количество гетеропереходов. В результате эффективность работы, а также простота изготовления (не требуется дополнительных источников молекулярных пучков для легирования) таких устройств повышаются.

### Экспериментальная часть

На рис. 1 представлено схематическое изображение ТПЭЛИ, рабочий слой (электролюминофор) которого представляет собой нанокompозитную пленку селенида



**Рис. 1.** Схематическое изображение ТПЭЛИ на базе рабочего слоя из нанокompозитной пленки ZnSe с двумя диэлектрическими слоями.

цинка. Здесь использована схема с двумя диэлектрическими оксидными слоями, которые выполняют роль буферных стабилизаторов, ограничивая величину тока, проходящего через рабочий слой (предохранение от пробоя). Они также формируют электронные состояния на границе раздела с люминофорным слоем. Туннельный переход электронов с этих состояний в зону проводимости полупроводника рабочего слоя служит источником первичных электронов для ударной ионизации и ударного возбуждения центров люминесценции [1].

Формирование прозрачного токопроводящего слоя на поверхности кварцевой подложки проводилось методом магнетронного распыления мишени сплава  $\text{In}_5\text{Sn}_{95}$  в среде смеси газов кислорода и аргона [6]. При этом образуется соединение типа  $\text{In}_2\text{O}_3 \times \text{SnO}_2$  с поверхностным сопротивлением около  $100 \Omega/\text{cm}^2$ . На поверхность проводящего слоя, также методом магнетронного распыления, проводилось напыление диэлектрической пленки  $\text{SiO}_2$ . Пленка рабочего слоя аморфно-нанокристаллического состава синтезировалась методом взрывного испарения порошка материала в условиях сверхвысокого вакуума [7]. Затем снова напылялся буферный диэлектрический слой, на который наносился верхний непрозрачный контакт из никеля.

В результате был получен опытный образец электролюминесцентного источника со следующими параметрами: толщина прозрачно-проводящего слоя  $\text{In}_2\text{O}_3 \times \text{SnO}_2$  — 150 nm, толщина буферных слоев  $\text{SiO}_2$  — 100 nm, толщина рабочего слоя  $\text{ZnSe}$  — 150 nm и толщина контакта  $\text{Ni}$  — 1  $\mu\text{m}$ .

Следует отметить, что из-за некоторого сходства ТПЭЛИ также называют электролюминесцентными конденсаторами.

## Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены зависимости реальной и мнимой частей импеданса от частоты поля при направлении возбуждающего поля 5 V. Максимум  $Z'$  наблюдается при частоте 146 kHz при той же частоте  $Z''$  имеет величину 1/2 от максимума. Это говорит о том, что данная частота является резонансной для данной системы. Реальная часть комплексного сопротивления имеет минимум при частоте 212 Hz. Из литературных данных известно [8,9], что максимальный выход электролюминесценции у ТПЭЛИ имеет место при частоте от 200 до 500 Hz. Это говорит о том, что инжекция дополнительных носителей заряда в рабочий слой от обкладок „конденсатора“ будет получена при частоте 212 Hz, следовательно, можно сделать вывод, что максимум электролюминесценции можно получить именно при этой частоте.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) образца измерялась также с помощью потенциостата AUTOLAB (рис. 3). Вид ВАХ говорит о наличии перехода типа барьера Шоттки или подобного ему. Наличие такого

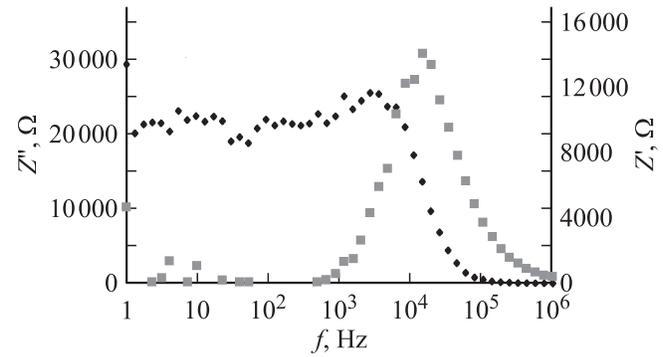


Рис. 2. Зависимость реальной ( $Z'$  — ■) и мнимой ( $Z''$  — ◆) частей комплексного сопротивления от частоты возбуждающего поля.

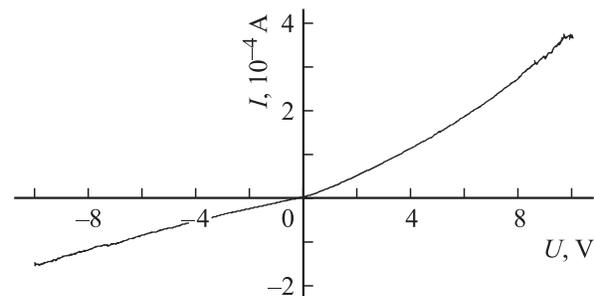


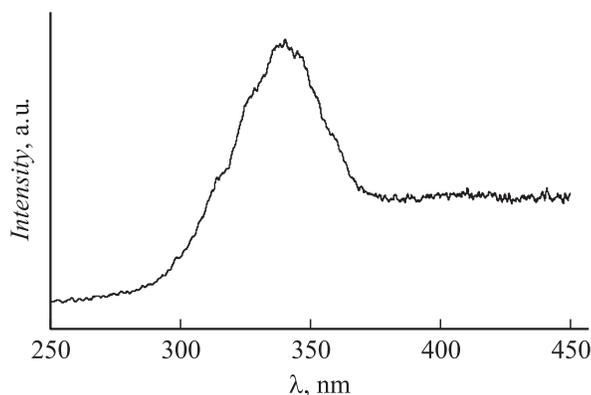
Рис. 3. Вольт-амперная характеристика опытного образца ТПЭЛИ на базе  $\text{ZnSe}$ .

перехода следовало ожидать, поскольку электролюминесценция достигается путем инжекции дырок в полупроводник  $n$ -типа. Поскольку рабочий слой электролюминесцентных источников имеет сложную аморфно-кристаллическую структуру, то на границе перехода аморфный полупроводник (с измененным типом проводимости) — кристаллический полупроводник (полупроводник  $n$ -типа) происходит подкачка дырками кристаллической области полупроводника.

Ранее проведенные структурные исследования показали, что количество таких переходов в пленке зависит от размера (от 5 до 100 nm) и количества нанокристаллитов в аморфной матрице материала [4]. В рабочем слое образца размером  $1 \times 1 \text{ cm}$  и толщиной 0.15  $\mu\text{m}$  может быть размещено несколько миллионов таких переходов, и чем больше их, тем должны быть выше эффективность и яркость излучения ТПЭЛИ.

Интенсивность электролюминесценции опытного образца была исследована при различных напряжениях и частотах возбуждающего поля. Максимальная интенсивность электролюминесценции наблюдалась при напряжении 270 V и частоте 220 Hz.

Спектральную характеристику ТПЭЛИ исследовали с помощью спектрометра Renishaw InVia Reflex (рис. 4). Максимум интенсивности наблюдается при  $\lambda = 335 \text{ nm}$ , что соответствует экситонной люминесценции нанокри-



**Рис. 4.** Зависимость интенсивности люминесценции от длины волны излучения для опытного образца ТПЭЛИ.

сталлов ZnSe диаметром 5–10 nm [10]. При этом в левой части кривой наблюдаются два дополнительных пика низкой интенсивности с длинами волн 315 и 325 nm. Это может говорить о том, что в массиве образца присутствуют гетеропереходы между структурами с различной шириной запрещенной зоны, что требует дополнительных, более тщательных исследований.

Работа выполнена в рамках проектов программы президиума РАН по направлениям № 20 (09-П-2-1026) и № 27, инновационного проекта молодых ученых УрО РАН, гранта президента РФ (договор № 02.120.11.369-МК), контракта с Роснаукой № 02.740.11.0543.

## Список литературы

- [1] Jiang W., Zhao S., Xu Z., Zhang F. // *Displays*. 2008. Vol. 29. P. 432–435.
- [2] Kurtz E., Shen J., Schmidt M., Grun M., Hong S.K., Litvinov D., Gerthsen D., Oka T., Yao T. // *Thin Solid Films*. 2000. Vol. 367. P. 68–74.
- [3] Lee S., Merz J.L., Furdyna J.K. // *J. Crystal Growth*. 1998. Vol. 184–185. P. 228–236;
- [4] Валеев Р.Г., Пивоварова О.И., Деев А.Н., Гильмутдинов Ф.З., Романов Э.А., Елисеев А.А., Кривенцов В.В., Шарафутдинов М.Р., Быстров С.Г. // *ЖСХ*. 2008. Т. 49. С. 139–143.
- [5] Георгобидани А.Н. // *Соросовский образовательный журнал*. 2000. Т. 6. № 3. С. 105–111.
- [6] Беленков К.В., Зубкова Т.М. // *Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы*. 1984. № 1. С. 38–42.
- [7] Валеев Р.Г., Крылов П.Н., Романов Э.А. // *Поверхность*. 2007. № 1. С. 41–45.
- [8] Сычев М.М., Комаров Е.В., Григорьев Л.В., Мякин С.В., Васильева И.В., Кузнецов А.И., Усачева В.П. // *ФТП*. 2006. Т. 40. Вып. 9. С. 1042–1046.
- [9] Георгобидани А.Н. // *УФН*. 1974. Т. 113. № 1. С. 129–155.
- [10] Nikesh V.V., Lad A.D., Kimura S., Nozaki S., Mahamuni S. // *J. Appl. Phys.* 2006. Vol. 100, P. 113 520.