

ББК 3 965-048.42-021+0567.7

УДК 621.382:621.315.5+

С.В. Ленков, В.В. Зубарев, В.В. Жеревчук,
А.Н. Перегудов, Р.А. Шевченко**ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ
ДЛЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

Проведен анализ методов создания, структур и материалов электролюминесцентных индикаторов для систем отображения бортовой информации. Предложены новые материалы индикаторных слоев, позволяющие значительно повысить яркость излучения и снизить пороговое напряжение возбуждения.

Развитие бортового приборостроения и радиоэлектроники не возможно без создания новых систем отображения информации. При этом основное внимание должно уделяться высокой надежности, виброустойчивости, ударной прочности, информационной емкости и т.п.

Как показал анализ состояния проблемы, наиболее перспективной является технология тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов (ТПЭЛИ) [1]. До настоящего времени в бортовой аппаратуре используются разнородные типы индикаторов от электронно-лучевых трубок и лампочек накаливания до жидкокристаллических индикаторов. Использование же ТПЭЛИ вследствие их свойств и особенностей позволит реализовать все возможные виды индикаторов с широким диапазоном яркости свечения и цветопередачи (доступен весь диапазон видимого спектра), а также с высокими показателями быстродействия, разрешающей способности и информационной емкости. Возросшие требования к надежности и малогабаритности бортовых приборов и устройств также вызывают необходимость замены вакуумных и газонаполненных индикаторов новыми плоскими устройствами отображения информации. При этом необходимо выполнение следующих требований:

- плоскостность панельной конструкции с широким диапазоном возможных размеров;
- высокие виброустойчивость и ударопрочность;
- гарантированное время безотказной работы не менее 10 тыс. часов;
- возможность максимально полного цветового охвата;
- яркость изображения белого цвета активного (светоизлучающего) плоского экрана в диапазоне $10 \dots 170 \text{ кд/м}^2$;
- контрастность изображения – 50:1;
- число градаций яркости серой шкалы – до 64;
- быстродействие, достаточное для воспроизведения информации в реальном времени;
- низкое энергопотребление.

Практически всем этим требованиям отвечает ТПЭЛИ структуры типа металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл (МДПДМ), работающий на переменном токе (рис. 1), который является одним из самых перспективных и конкурентоспособных устройств для создания плоских

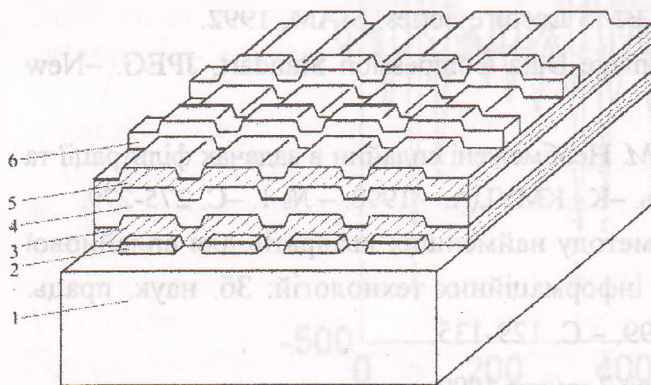


Рис. 1. Структура ТПЭЛИ:

1 – верхний электрод; 2, 4 – диэлектрический слой; 3 – слой электролюминофора; 5 – нижний электрод; 6 – стеклянная подложка

устройств отображения информации. Это обусловлено, кроме перечисленных выше, такими свойствами индикаторов, как плоская безвакуумная твердотельная конструкция, небольшая потребляемая мощность, высокие стабильность, разрешающая способность и контрастность, продолжи-

тельный срок службы, совместимость технологий создания ТПЭЛИ с рядом других технологий, в частности, с технологией создания гибридных пленочных микросхем. Кроме того, у таких индикаторов полностью отсутствует рентгеновское излучение. Все это позволяет им успешно конкурировать со многими существующими устройствами отображения информации [1–3].

Необходимость обеспечения требуемых светотехнических параметров накладывает ряд условий на элементы конструкции ТПЭЛИ, которые часто противоречат друг другу. Среди общих требований к структурам можно отнести также: механическую прочность; влагостойкость; близкие по значению коэффициенты термического расширения частей структуры; простоту изготовления; низкую стоимость; высокую надежность; возможность получения больших излучающих поверхностей и другие [3].

К составным частям структуры, в свою очередь, предъявляются более конкретные требования. Например, к прозрачной диэлектрической подложке: пропускание видимого света должно быть не менее 95%; сохранность геометрической формы при температуре не менее 800 К и другие. Реально этим требованиям отвечают оптические стекла ЛК-7, ЛК-105, выпускаемые в Российской Федерации [2].

Прозрачные проводящие электроды ТПЭЛИ пропускают видимое излучение от слоя люминофора. К ним предъявляют следующие требования: пропускание видимого света – не менее 95%; удельное сопротивление при толщине 0,1...0,2 мкм – не более 101...20 Ом/м и другие. Указанных показателей можно достичь, используя широкозонные полупроводниковые соединения SnO_2 ; $\text{SnO}_2\cdot\text{Sb}$; In_2O_3 ; Cd_2SnO_4 ; ZnO и другие, которые формируют химическим осаждением, напылением или ионным распылением [4]. Так, например, для получения пленок $\text{In}_2\text{O}_3\cdot\text{Sn}$ применяют методы вакуумного реактивного распыления на постоянном или высокочастотном токах, вакуумного активированного термического напыления, электронно-лучевого испарения и химического осаждения. Каждый метод осаждения и связанные с ним условия позволяют образовывать пленки с различными свойствами. Для улучшения оптических, электрических и механических характеристик проводящие пленки подвергают термической обработке, которая уменьшает их удельное электрическое сопротивление за счет увеличения подвижности носителей заряда. В последнее время широкое распространение в качестве прозрачных проводящих слоев получили слои окиси индия, легированные оловом. По своим свойствам они не уступают окисно-оловянным покрытиям. Для повышения адгезии к основанию пленки наносят в два приема. Сначала напылением наносят слой SnO_2 , а поверх него – слой In_2O_3 электронно-лучевым методом.

Диэлектрики, используемые в ТПЭЛИ в качестве изолирующих слоев, отделяющих слой люминофора от электродов, должны обладать такими основными параметрами:

- прозрачность в видимой области спектра – не менее 90...95 %;
- электрическая прочность – не менее $(3...8)\cdot 10^6$ В/см;
- относительная диэлектрическая проницаемость – не менее 15...20;
- малые значения тангенса угла диэлектрических потерь – 0,001...0,005.

Анализ показывает, что наряду с широко известным оксидом иттрия в качестве диэлектрических слоев могут быть использованы практически все оксиды редкоземельных и переходных металлов. Сравнительный анализ пленок Y_2O_3 , Al_2O_3 , Si_3N_4 , Ta_2O_5 и SiAlON в структуре ТПЭЛИ первого типа показал, что ни один из указанных материалов не дает значительного превосходства в снижении порогового напряжения. Пленки Si_3N_4 обеспечили наивысшую световую эффективность. За ними следуют пленки Ta_2O_5 , Y_2O_3 , Al_2O_3 . Создание ТПЭЛИ с “чистым” Si_3N_4 с обеих сторон ZnS затруднено вследствие возникающих значительных механических напряжений. Рекомендовано включать в ТПЭЛИ слои SiAlON , обладающие хорошими диэлектрическими свойствами и служащими преградой для проникновения влаги и миграции ионов. Сравнение таких материалов для диэлектрических слоев, как Si_3N_4 , SiAlON , Sm_2O_3 , Ta_2O_5 , PbTiO_3 , SrTiO_3 и других, полученных реактивным распылением, показало, что практически ни один из них не удовлетворяет всем указанным выше требованиям. Поэтому использовали метод выполнения диэлектрических слоев из двух и более компонентов. Например, из композиции слоев $\text{SiO}_2/\text{Si}_2\text{N}_4$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, SrTiO и $\text{Y}_2\text{O}_3/\text{BaTa}_2\text{O}_6$, $\text{SiAlON}/\text{Ta}_2\text{O}_5$. Сегодня для изготовления тонкопленочных электролюминесцентных приборов преимущественно используются композиционные диэлектрические слои, наносимые электронно-лучевым и высокочастотным распылением. Используются и другие методы для нанесения диэлектрических слоев ТПЭЛИ, например, послойной атомной эпитаксии, плазмохимического осаждения из паровой фазы и т.п. [2].

К люминесцентным слоям ТПЭЛИ предъявляются следующие требования:

- обеспечение высокой яркости и световой эффективности;
- соответствие одному из основных спектральных цветов свечения;
- высокая насыщенность (чистота) цвета свечения;
- совместимость технологии получения слоя с технологией изготовления диэлектрических слоев;
- химическая и температурная стойкость и другие.

Этим требованиям, в основном, отвечают широкозонные полупроводники типа $A^{IV}B^{VI}$. Наиболее хорошо изучен и традиционно широко используется сульфид цинка (ZnS). Однако для получения в ТПЭЛИ различного цвета свечения необходимо пользоваться различными активаторами люминесценции. В этой связи необходимо учитывать взаимную согласованность ионных радиусов активатора и основы. В ряде случаев это вызывает необходимость использовать другую основу. В последнее время для этого предложено применение сульфидов стронция и кальция.

Материалы люминесцентных слоев

Материал основы: активатор	Цвет излучения
ZnS:Mn ²⁺	Оранжевый
Zn _{1-x} Mg _x S:Mn ²⁺	Зелено-желтый
ZnS:Tb ³⁺	Зеленый
SrS:Ce ³⁺	Сине-зеленый
CaS:Eu ²⁺	Красный
SrS:Pr ³⁺	Белый
SrS:Ce ³⁺ , Pr ³⁺	Голубой
(Ca,Sr)Ga ₂ S ₄ :Ce ³⁺	Синий
Zn _{1-x} Mg _x S:Mn ²⁺ /ZnS:Mn ²⁺	Ярко-желтый
ZnS:Mn ²⁺ /SrS:Ce ³⁺	Желто-белый
CaS:Eu ²⁺ /SrS:Ce ³⁺	Белый
SrS:Ce ³⁺ , Eu ²⁺	Белый

Материалы люминесцентных слоев [5,6] приведены в таблице.

Для формирования таких слоев используют напыление и распыление различными способами, молекулярно-пучковую эпитаксию, химическое осаждение из паров металлоорганических соединений. Метод нанесения должен обеспечивать получение пленок стехиометрического состава с высоким качеством кристаллической решетки. В этом случае можно получить максимально возможное ускорение электронов и приобретение ими достаточной энергии для ударного возбуждения центров люминесценции. Достоинства данной технологии напыления тонких пленок заключаются в возможности получения пленок большой площади, в простоте конструкции и

используемых установок. Однако пленки при этом имеют аморфную или поликристаллическую структуру. Поэтому в настоящее время по возможности стараются воспользоваться другими методами.

Для повышения эффективности люминесцентного слоя активатор должен иметь большое поперечное сечение ударного возбуждения. Кроме того, излучающий центр должен быть стабильным в сильных электрических полях, необходимых для возникновения электролюминесценции [2]. Наилучшим примером соответствия этим требованиям является легирование марганцем сульфида цинка. Для получения «разноцветных» ТПЭЛИ сегодня проводится поиск в двух основных направлениях. Во-первых, исследуются различные активаторы для пленок ZnS. Упор делается на фториды редкоземельных элементов TbF₃, HoF₃, ErF₃ (зеленый цвет); SmF₃, NdF₃ (красный цвет); TuF₃ (синий цвет); PrF₃ (белый цвет) и другие. [2]. Во-вторых, исследуются новые основы для люминесцентного слоя. Кроме выше указанных основных материалов, используются Al(Ga)N-Ln, In₂O₃, SiO_xLnF₃ и щелочноземельные сульфиды, легированные редкоземельными элементами.

Иногда в структуру ТПЭЛИ вводят светопоглощающий и просветляющий слои. Однако светопоглощающие слои, повышая контрастность, ухудшают яркость и световую эффективность. Предлагается использовать в качестве этого слоя желтую и черную модификации GeO₂ или тройное соединение Pb_xCd_{x-1}Te. Причем число атомов (x) выбирается таким образом, чтобы ширина запрещенной зоны равнялась 1,25 эВ. Слой имеет темный цвет при толщине всего 70 нм и удельное сопротивление 10¹⁰ Ом/см и диэлектрическую проницаемость $\epsilon = 60$. В результате введения этого слоя максимальная яркость излучения ТПЭЛИ составила 850 кд/м², что оказалось достаточным для работы при ярком солнечном свете. Известно также использование в ТПЭЛИ пленок халькогенидных стекол. Однако наилучшие результаты получены при использовании светопоглощающего слоя на основе пленок состава Pr_xMn_yO_z. В качестве пленок просветляющего слоя наиболее перспективными могут быть CaF₂, MgF₂.

SrF_2 , Na_3AlF_6 , BaF_2 , обладающие показателем преломления менее 1,5 и прозрачные в области 300...800 нм.

Завершающим элементом ТПЭЛИ является электрод, который может быть как непрозрачным, так и прозрачным. К нему, кроме общих ко всем элементам, предъявляются требования: низкое удельное сопротивление; высокая коррозионная стойкость. Этим требованиям лучше всего удовлетворяют золото и платина. Вместе с тем на практике наиболее широкое применение нашел алюминий, вследствие низкой стоимости и возможности предотвращения развития пробоя структуры [2,3]. В случае прозрачного электрода можно использовать пленку In_2O_3 .

С целью улучшения эксплуатационных характеристик авторами были созданы ТПЭЛИ на основе новых материалов: $\text{In}_2\text{O}_3 - \text{HfO}_2:\text{Nd}_2\text{O}_3$ (слой толщиной 300 нм) – $\text{ZnS}:\text{HoF}_3$ (600 нм) – $\text{HfO}_2:\text{Nd}_2\text{O}_3$ (300 нм) – Al. Применение диэлектрических слоев на основе квазибинарной структуры $\text{HfO}_2-\text{Nd}_2\text{O}_3$ позволило повысить яркость ТПЭЛИ при меньших управляющих напряжениях и увеличить электрическую прочность, а, следовательно, надежность работы и стабильность параметров индикатора. Изготовленные экспериментальные структуры обладают высокой яркостью излучения (800 кд/м^2) и низким пороговым напряжением возбуждения (около 115 В). Вольт-яркостная характеристика индикатора приведена на рис.2.

В заключение следует отметить, что, несмотря на то, что ТПЭЛИ находятся еще на стадии разработки, полученные результаты можно уже применять для создания нового, современного авиационного и космического оборудования.

Таким образом, предлагается использовать в бортовом приборостроении, радиоэлектронике, системах управления и навигации в качестве систем отображения информации устройства на основе ТПЭЛИ. Предложены конкретные материалы, позволяющие создавать индикаторы с высокой яркостью свечения и контрастностью, что позволяет рекомендовать их применение для бортовых устройств отображения информации различного назначения.

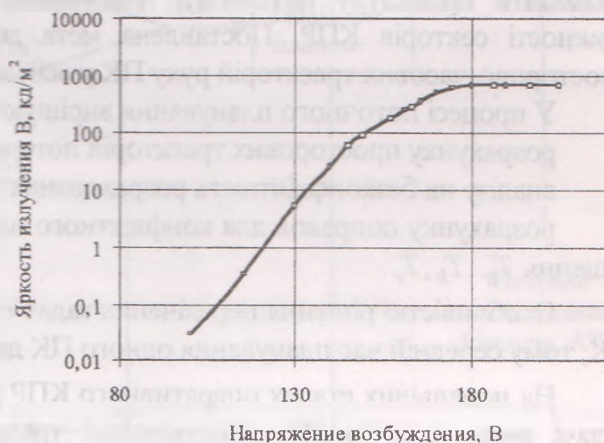


Рис.2. Вольт-яркостная характеристика ТПЭЛИ на основе структуры $\text{In}_2\text{O}_3 - \text{HfO}_2:\text{Nd}_2\text{O}_3$ (300 нм) – $\text{ZnS}:\text{HoF}_3$ (600 нм) – $\text{HfO}_2:\text{Nd}_2\text{O}_3$ (300 нм) – Al

Список литературы

1. Методика оценки эффективности применения индикаторов различного типа в бортовых средствах отображения информации / В.В. Зубарев, В.А. Мокрицкий, О.В. Поляруш и др. // Вісник КМУЦА. – К.: КМУЦА. – 1999. – №1(2). – С. – 108–112.
2. Электролюминесцентные источники света / И.К. Верещагин, Б.А. Ковалев, Л.А. Косяченко, С.М. Кокин; Под ред. И.К. Верещагина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 168 с.
3. Андриянов А.В., Жеревчук В.В., Поляруш О.В. Тонкопленочные электролюминесцентные структуры разного цвета свечения // Сб.тр. Одесского политехнического университета. – Одесса: ОПУ. – 1997. – №1. – С. 284–286.
4. Сухарев Ю.Г., Антонов С.Ю., Тростянская Н.И., Бойко В.А. Матричная электролюминесцентная панель с двумя прозрачными электродами / Деп. в УкрНИИТИ 29.07.87 – №2245. – Ук87. – С. 9.
5. Excitation mechanism in White –Light / S. Tanaka, H. Yoshida, J. Nishiura, S. Ohshio, H. Kawakami, K. Nakamura, H. Kobayashi. Emmiting $\text{SrS}:\text{Pr},\text{K}$ and $\text{SrS}:\text{Ce},\text{K},\text{Eu}$ Thin Film Electroluminescent Devices // Proc. 4-th Int. Workshop, Tottori, Oct. 11-14, 1988. – P.56-59.
6. Yoshiyama H., Sohn S.H., Tanaka S., Kobayashi H. Excitation mechanism Based on Field-Induced Delocalisation of Luminescent Centers in $\text{CaS}:\text{Eu}^{2+}$ and $\text{SrS}:\text{Ce}^{3+}$ Thin Film Electroluminescent Devices // Proc. 4 th Int. Workshop, Tottori, Oct. 11-14, 1988. – P.48-55.