

УДК 621.315.592.2

В.И. Осинский, д-р техн. наук, В.Г. Вербицкий, д-р техн. наук, В.М. Мацкевич, И.А. Тучинский, Д.С. Мурченко, В.Г. Салюта, Н.О. Ляхова

## Мощные светодиодные матрицы на анодированной алюминиевой подложке

Исследована технология интеграции мощных светодиодов в состав матриц на анодированной алюминиевой подложке. Проведено сравнение с другими технологиями интеграции, экспериментально определены основные светотехнические характеристики полученных образцов.

Изучены тепловые процессы в матрицах и построена тепловая модель матрицы, предложен вариант конструкции с учетом полученных результатов и представлены основные технологические требования к изготовлению матриц на анодированной алюминиевой подложке.

The technology of the powerful light-emitting diodes integration to the structure of matrixes on the anodized aluminium substrate is researched. Comparison with other technologies of integration is conducted, the experimental basic lighting characteristics of the received samples are obtained.

The thermal processes in the matrixes are studied and the thermal model of the matrix was developed, the design variant based on the received results is offered and the basic technology requirements for manufacturing of the matrixes on anodized aluminium are presented.

### Введение

Актуальность изучения конструктивно-технологических проблем интеграции мощных светодиодных структур обусловлена всё возрастающим влиянием этого нового направления на сигнально-осветительную индустрию. Это влияние объясняется теми огромными преимуществами, которые достигаются в результате замены вакуумных, газоразрядных и люминесцентных ламп на светодиодные твердотельные устройства. Применение светодиодов позволяет уменьшить потребляемую энергию, повысить надёжность, долговечность, экологичность и безопасность эксплуатации. Эти преимущества обуславливают высокие темпы разработки технологий интеграции светодиодных устройств и освоение их производства. Учитывая все возрастающие требования к мощности излучения светодиодных источников и распределению светового потока, на данном этапе развития технологии возможна гибридная интеграция светодиодных чипов в матрицы требуемой конфигурации [1,2].

Данная работа посвящена разработке технологии получения и исследованию основных характеристик [3,4] мощных светодиодных матриц на анодированной алюминиевой подложке и их сравнению с другими технологиями.

### 1. Проблема отвода тепла при интеграции мощных светодиодов

Планируя выбор той или иной конструкции и тех-

нологии матриц мощных светодиодов необходимо, прежде всего, оптимизировать отвод тепла от чипа. Этот выбор существенно облегчается на основе понимания тепловых процессов в чипах, подложках, радиаторах и переходных слоях, применяемых при сборке. Исследование этих процессов и их влияния на оптические характеристики матрицы важны не только для разработки технологии, но и может служить исходной базой для потенциального потребителя. В этом случае элементы конструкции матрицы трансформируются разработчиком сигнально-осветительного устройства на основе матриц светодиодов в структуру схем управления и конструкцию оптической системы гибридного оптоэлектронного устройства. Как показано в [2], оптимальным являются динамические схемы управления.

Конструкции и технология мощных оптоэлектронных гибридных интегральных схем (МОГИС) позволяют в едином технологическом цикле интегрировать полупроводниковые излучающие и фотоприёмные чипы, микрооптику, схемы питания и управления излучением. Однако экономические законы производства накладывают жёсткие ограничения на выбор возможных решений. Стоимость МОГИС складывается из стоимости чипов мощных сверхъярких светодиодов, подложек, микрооптики и стоимости труда при сборке и контроле МОГИС. При небольшой степени интеграции (2x2; 3x3; 5x5) технологическая часть общей стоимости составляет незначительную долю по сравнению со стоимостью мощных чипов. При увеличении степени интеграции стоимость МОГИС уменьшается, пока не наступает ограничение возможности отвода тепла от элементов матрицы данной конструкции. Поэтому улучшение теплоотвода от чипов является актуальной задачей широкого применения матриц мощных светодиодов [3].

Информация, воспринимаемая зрительным анализатором человека определяется не только яркостью свечения излучателя, как это принято считать, а комплексом характеристик излучения: амплитудой, длительностью и частотой импульсов возбуждения, способностью к интерференции (степенью когерентности) и длиной волны света, отражённого от объекта. То есть высокая яркость свечения не является единственным условием хорошего разрешения изображения, которое зависит также от фоновой освещённости и контрастности. С повышением амплитуды импульсов тока в мощных светодиодах реализуется режим суперлюминесценции, при котором становится возможной частичная когерентность излучения, которая наступает при меньших токах, когда температура активных областей чипа более низкая. Общее увеличение светового потока из элементов матрицы достигается применением внешних рефлекс-

торов, интегрированных с подложкой, а также микрооптикой.

## 2. Технологические особенности изготовления и экспериментальное исследование световых характеристик образцов

В данной работе мощные светодиодные матрицы выполнялись на базе отдельных пластин из алюминия, покрытых анодным окислом. На оксидной плёнке путём фотолитографии или путём вакуумного осаждения металлов через трафарет создаётся необходимая металлическая разводка.

Подложка изготавливалась из алюминиевого сплава Д16 с высокой теплопроводностью. Электрическая изоляция осуществлялась слоем анодированного окисла алюминия толщиной 18-20 мкм, химически выращенным на алюминиевой основе. Этот анодированный слой обеспечивает хорошую электрическую изоляцию и высокую эффективность передачи тепла.

Исследования изоляционных свойств полученной структуры показали что сопротивление изоляции составляет не меньше  $5 \cdot 10^{10}$  Ом.

Конструкция подложки корпуса матрицы светодиодов изображена на рисунке 1-а. Чипы светодиода монтируются с помощью проводящего клея (контактола) в отражатель бокового излучения (рефлек-

тор), выполненный на подложке. Клей представляет собой полимерную композицию с наполнителем в виде мелкодисперсного (десятые доли мкм) серебряного порошка с теплопроводностью 1 Вт/м\*К.

Рабочее напряжение при толщине пленки  $Al_2O_3$  250 мкм может быть выбрано не менее 250 В. Коэффициент теплопроводности пленки  $Al_2O_3$  25,9 Вт/м·К. Высокая теплопроводность алюминиевого сплава и пленки позволяет устанавливать мощные чипы светодиодов непосредственно на подложку.

Тонкопленочные проводники получены методом вакуумного магнетронного напыления с последующей фотолитографией подобно фотолитографии при изготовлении печатных плат. Топология электрической разводки светодиодной матрицы приведена на рисунке 2. Толщина проводников из пленки алюминия 3-5 мкм. Такая толщина обеспечивает возможность последовательно-параллельного подсоединения чипов светодиодов.

Для сравнения на рис. 1-б показана матрица мощных светодиодов, выполненная на гибком носителе. Чипы мощных светодиодов монтируются методом ультразвуковой сварки на гибкий носитель (полиимид), содержащим токопроводящие дорожки из алюминия. Сечение матрицы на анодированном алюминии представлено на рис. 1-в, сечение матрицы с гибким носителем - на рис. 1-г.

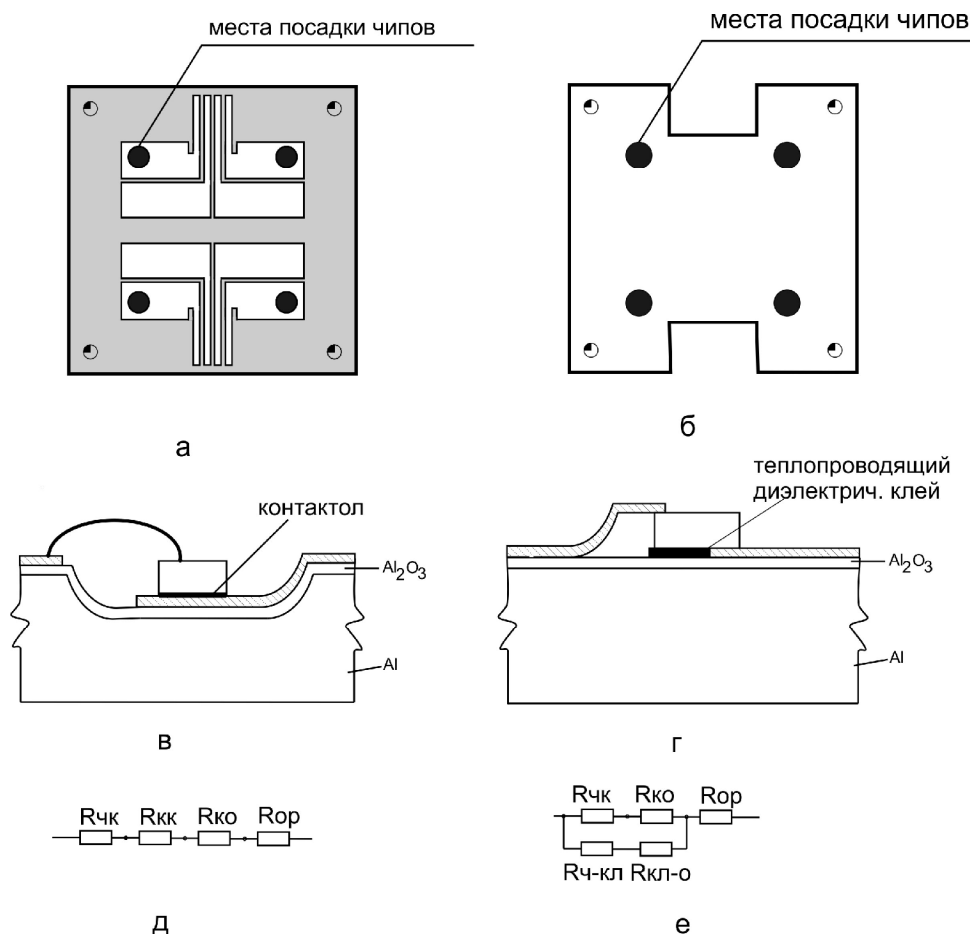


Рис. 1. Тепловые модели матриц: а-общий вид матрицы на анодной алюминиевой подложке; б-общий вид матрицы на гибком носителе; в- сечение матрицы на анодной алюминиевой подложке; г-сечение матрицы на гибком носителе; д, е –тепловые модели матриц на анодной алюминиевой подложке и гибком носителе соответственно

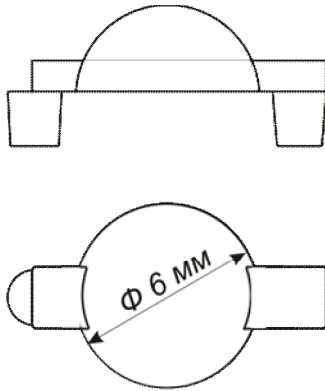


Рис. 2. Микролинза

Коэффициент теплопроводности  $K_i$  конструкции матрицы светодиодов можно определить по эмпирической формуле:

$$K_i = C_m \frac{l}{S} v_T, \text{ (Вт/м} \cdot \text{°C)} \quad (1)$$

где  $C_m$  – теплоемкость матрицы,  $l$  – толщина конструкции,  $S$  – площадь поперечного сечения теплоотводящих частей конструкции,  $v_T$  – скорость охлаждения;  $K_i$  в направлении оси  $Z$  (перпендикулярно плоскости матрицы) существенно не изменяет своего значения, тогда как в направлениях  $X$  и  $Y$  он существенно зависит от наличия теплопроводящих элементов и их расположением относительно источника и стока тепла.

При приближении к стоку тепла в направлениях  $X$  и  $Y$  коэффициент теплопроводности возрастает экспоненциально, что дает возможность выразить  $K_i$  эмпирически:

$$K_i = e^{\frac{\Psi^2}{4} \cdot 10^{-3} - 0,75}, \quad (2)$$

где  $\Psi$  – отношение длины металлических проводников к общей длине теплопровода в направлениях  $X$  и  $Y$ . Разделяя конструкцию матрицы на отдельные характерные участки, можно определить теплопроводность каждого участка и среднее её значение:

$$K_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (3)$$

где  $n$  – количество участков в данном направлении.

Для рассматриваемой конструкции матрицы на анодированном алюминии по схеме тепловых сопротивлений (рис.1 д,е ) можно определить перегрев элементов матрицы.

Сравнение значений температуры чипа  $T_{ch}$  для матрицы на анодированном алюминии и гибком носителе (рис.1 а,б ) показывает ее незначительное различие. При этом наличие дополнительного пути отвода тепла от чипа к пленке  $Al_2O_3$ , минуя контактную алюминиевую площадку, на схеме тепловых сопротивлений обозначено элементом  $R_{ch-o}$  (тепл. сопротивление чип-оксид). Таким образом, результирующее тепловое сопротивление между чипом и пленкой  $Al_2O_3$  уменьшается для конструкции на гибком носителе по сравнению с конструкцией на анодированном алю-

минии, где непосредственного контакта чипа с  $Al_2O_3$  нет.

Для модели рис. эквивалентное тепловое сопротивление участка чип - оксид:

$$R_{ch-o} = \frac{(R_{ch-kl} + R_{kl-o})(R_{ch} + R_{kk})}{R_{ch-kl} + R_{kl-o} + R_{ch} + R_{ko}}. \quad (4)$$

Температура чипов для вариантов на анодированном алюминии и гибком носителе (рис.1-д и рис.1-е соответственно):

$$T_{ch}' = T_c + R_{ch} \left( \frac{h \cdot R_{pc}}{S \cdot K_T} + R_{ch} + R_{kk} + R_{ko} + R_{op} \right), \quad (5)$$

$$T_{ch}'' = T_c + R_{ch} \left( \frac{h \cdot R_{pc}}{S \cdot K_T} + \frac{(R_{ch-kl} + R_{kl-o})(R_{ch} + R_{ko})}{R_{ch-kl} + R_{kl-o} + R_{ch} + R_{ko}} + R_{op} \right), \quad (6)$$

где  $h$  – высота теплоотводящего основания,  $S$  – его площадь,  $K_T$  – коэффициент теплопроводности алюминия,  $R_{xy}$  – тепловое сопротивление между  $X$  и  $Y$  соответственно (см.рисунок 1)

Для рассматриваемых конструкций рис. 1-а и 1-б:

$h = 0.3$  см,  $S' = 9.69$  см<sup>2</sup>,  $S'' = 10.89$  см<sup>2</sup>,  $K_T = 2,37$  Вт/(см·К)

При комнатной температуре  $T_c = 20^\circ\text{C}$  расчетные значения  $T_{ch}' = 70,1^\circ\text{C}$ , и  $T_{ch}'' = 65,1^\circ\text{C}$ .

$R$  – тепловое сопротивление соответствующего перехода:

$R_{ch}$  - тепловое сопротивление чип-контактов,

$R_{kk}$  - тепловое сопротивление контактов-контакт,

$R_{ko}$  - тепловое сопротивление контакт – оксид алюминия

$R_{op}$  - тепловое сопротивление оксид алюминия - радиатор

$R_{ch-kl}$  - тепловое сопротивление чип-клей

$R_{kl-o}$  - тепловое сопротивление клей-оксид алюминия.

Присоединение выводов к контактным площадкам на чипе и площадкам электрической разводки матрицы осуществляется методом ультразвуковой сварки. Отражатель бокового излучения при использовании полимерной линзы (рис.2) обеспечивают угол излучения 100 град. (см. рис.3). Для увеличения критического угла структуры светодиода с целью увеличения вывода светового потока, чип помещается в среду с показателем преломления  $n$ , удовлетворяющим неравенству  $n_{возд} \leq n \leq n_{полезн.}$ . Такой средой в данной конструкции светодиодной матрицы является специальный состав (гель) совместно с линзой. Пропускание света плёнкой геля толщиной 2 мкм в зависимости от длины волны представлено на рис.4. В светодиодной матрице использовались чипы зеленого цвета, рассчитанные на номинальный рабочий ток 350 мА при прямом напряжении на р-п переходе 3,2 В. Зависимость силы света от тока для матрицы из 4-х чипов при попарном последовательно-параллельном соединении приведена на рис.6.

Угловое распределение

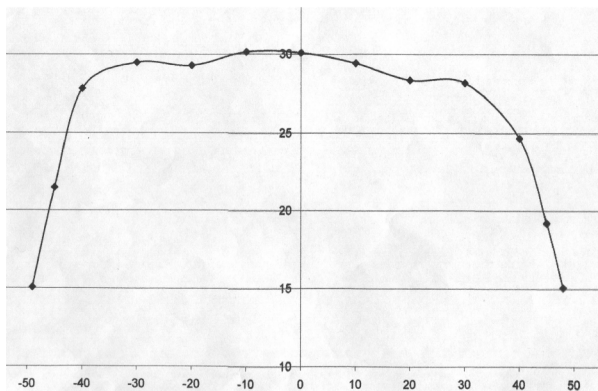


Рис. 3. Диаграмма распределения силы света

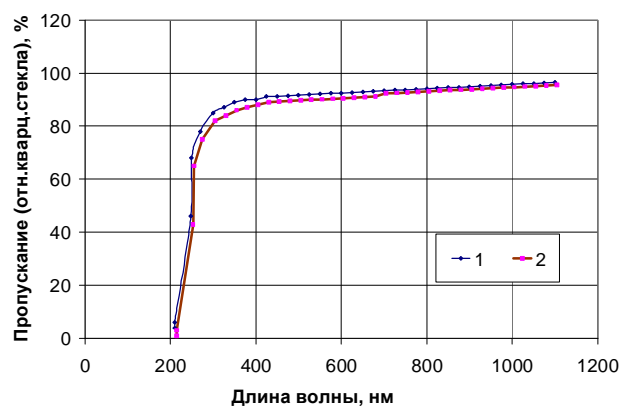


Рис. 4. Спектр пропускания слоя геля на кварцевом стекле: 1 — один слой, 2 — два слоя

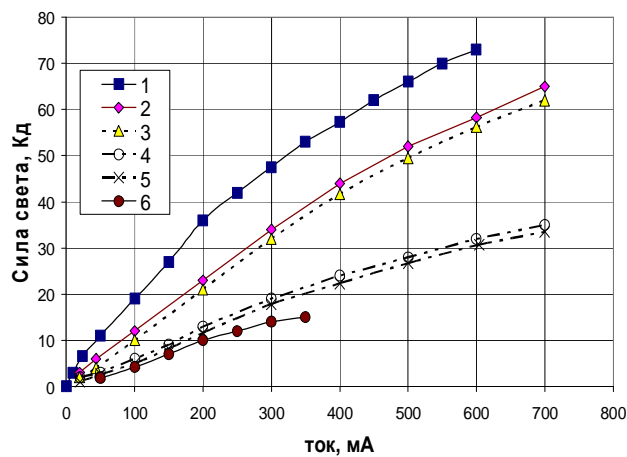


Рис. 5. Зависимость силы света от тока элемента матрицы: 1 — матрица на гибком носителе; 2, 3 — с установленными линзами; 4, 5 — без линз; 6 — одиночный светодиод

## Выводы

При интеграции мощных светодиодов принципиальное значение имеет обеспечение эффективного отвода тепла от чипов и минимизации тепловых сопротивлений на пути следования тепла от чипа к радиатору. Проведенный анализ показывает незначи-

тельное преимущество матриц, выполненных на гибком

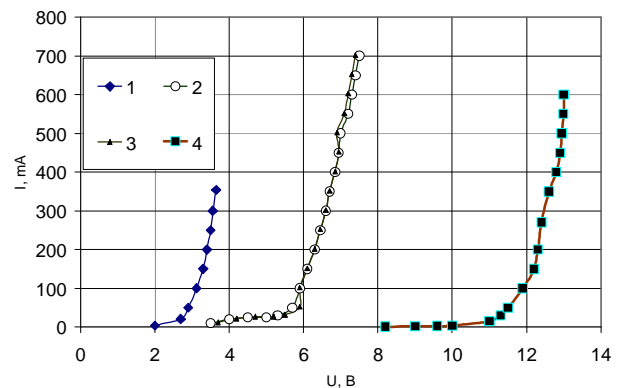


Рис. 6. Сравнение вольт-амперных характеристик матриц светодиодов на различных подложках: 1 — ВАХ чипа; 2,3 — ВАХ цепочек с двумя чипами, включенными последовательно; 4 — ВАХ матрицы на гибком носителе, четыре последовательно включенных чипа

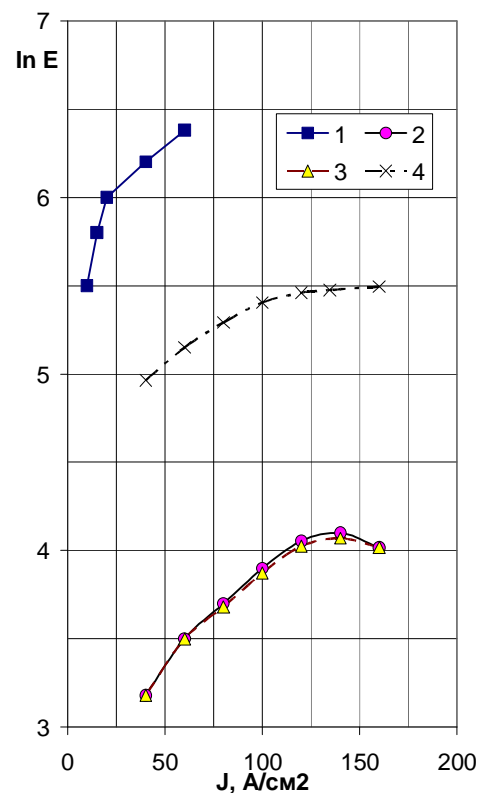


Рис. 7. Зависимость светоотдачи от плотности тока: 1 — СИД 0,45x0,4 мм, без подложки; 2 — СИД 0,22x0,22 мм, подложка 10x10мм, припой-гель; 3 — СИД 0,22x0,22 мм, подложка 10x10мм, контактогель; 4 — СИД 0,28x0,28 мм, подложка 10x10мм

носителе, в сравнении с технологией монтажа на анодированной алюминиевой подложке. В частности, наблюдаются незначительное различие в светоотдаче как следствие более низкого теплового сопротивления между чипом и радиатором для варианта с гибким носителем. Однако, в случае серийного изготовления устройств, конструкция матрицы на анодиро-

ванной алюминиевой подложке должна обеспечивать большую простоту и технологичность.

### Литература

1. *Осинский В.И., Вербицкий В.Г., Салюта В.Г. и др.* Получение и свойства многокристалльных сверхярких диодных источников света. // *Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники».* – 2006. – Часть 1. – С. 13-16.
2. *Осинский В.И., Тучинский И.А., Жара В.Д. и др.* Flip-chip технология сборки сверхярких светодиодов на гибком полиимидном носителе // *Электроника и связь Тематический выпуск «Проблемы электроники».* – 2006. – Часть 2. – С. 5-8.
3. *Вербицкий Н.В.* Разработка и исследование мощных интегральных микросхем. – дис. Канд. Техн. Наук. – руководитель Осинский В.И., Институт электроники АН БССР, 1979.
4. *Сокал В.А., Воробьева А.И.* Многокристалльные модули на анодированной алюминиевой подложке. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, - 2002, № 2, С. 40–45.