

которые зависят от микроструктуры об разца.

Причины аномальной зависимости прочности от температуры объясняются наложением процессов деформации и разрушения. На низкотемпературном участке деформационные процессы замедлены, коэффициент перенапряжения велик и почти постоянен. Повышение температуры до 800 °C ускоряет деформацию, за время испытания локальные напряжения успевают снизиться, а с повышением температуры коэффициент  $\sigma_p$  резко падает, поэтому с ростом температуры  $\sigma_p$  также растет.

Следовательно, на температурно-силовую зависимость ТМБК в первую очередь влияет коэффициент локальных перенапряжений.

Проверка полученных данных осуществлялась макетированием образцов спая сапфир—ковар. Для этих целей использовалась ТМБК с внешним диаметром 13,6 мм и толщиной стенки 1,4 мм. Толщина стенки коварового цилиндра выбиралась описанным ранее способом и равнялась 0,65 мм. Соединение коваровых деталей с предварительно металлизированной поверхностью корунда производилось пайкой медью в вакууме. Экспериментальные образцы сначала подвергались проверке на герметичность на течеискателе СТИ-11, а затем термоциклированию 20 °C—500 °C—20 °C, проведенному в печи сопротивления. После проведения 30 циклов вакуумная плотность сохранилась.

По результатам проведенных исследований разработана лампа с двумя оболочками и проведены испытания на долговечность. Лампа сохранила вакуумную плотность соединений в течение 250 ч циклической работы (4 ч — включено, 15 мин — выключено) при рабочей мощности 2 кВт.

Описанные методики и полученные результаты могут быть полезны для круга разработчиков, применяющих спаи аналогичного типа из других конструкционных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Любимов М.Л. Спай металла со стеклом. М.: Энергия, 1968.
- Батыгин В.Н., Метелкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. М.: Энергия, 1973.
- Рубин и сапфир / Под ред. М.В. Классен-Неклюдовской и Х.С. Багдасарова. М.: Наука, 1974.
- Брашловский В.Б., Гайдуков Е.Н., Макарова Т.В. и др. Механическая прочность безблочных профилированных монокристаллов корунда. / Электронная техника. Сер. 6. Материалы. / М.: ЦНИИ "Электроника", 1991. Вып. 1 (256). С. 53—55.

# Полупроводниковые светодиодные излучатели для светосигнальных приборов навигационных знаков водных путей

Л.М. КОГАН\*,  
И.Е. ШМЕРЛИНГ\*\*

НПЦ "Оптэл", МГАВТ

В последние годы благодаря разработке новых эпитаксиальных технологий многопроходных двойных гетероструктур (МДГС) в прямозонных системах GaAlAs, GaInAlP и InGaN значительно улучшены характеристики светодиодов [1, 2]. Существенно также изменились и характеристики светодиодов на основе непрямозонного соединения GaP:N.

Достижение высокого внешнего квантового выхода излучения  $\eta_{\text{вш}}$  в МДГС на основе прямозонных полупроводников обусловили следующие основные факторы:

применение двойной гетероструктуры с тонкой активной областью приводит к повышению  $\eta_{\text{вш}}$  за счет эффекта "электронного ограничения" и снижения поглощения излучения в активной области;

отсутствие поглощающей свет подложки приводит к реализации эффекта "многопроходности", вследствие которого электроны, направленные к нижней грани кристалла, а также отраженные внутрь кристалла верхней и боковыми гранями, испытывают многократное внутреннее отражение без поглощения в активной области и, тем самым, вносят существенный вклад в излучение [3, 4].

В последнее время в системе InGaN созданы МДГС со сверхтонкой активной областью (до 2—3 нм), в которых существенны эффекты размерного квантования [5, 6]. Благодаря высокому совершенству активного слоя в этих структурах достигается высокий внешний квантовый выход излучения.

Новейшие достижения зарубежной и отечественной техники в области светодиодов (табл. 1) показывают, что по световой отдаче, силе света на единицу подводимой мощности современные светодиоды превосходят ЛН. Это явилось предпосылкой для создания светосигнальных приборов со светодиодными излучателями с существенно более низким потреблением энергии, чем при использовании ЛН. Особенно важно снижение потребления электроэнергии для светосигнальных приборов с автономным питанием, к которым относятся большинство приборов навигационных знаков водных путей.

\* 107082, Москва, ул. Бакунинская, д. 84.

\*\* 115407, Москва, ул. Судостроительная, 46.

Ниже представлены результаты разработки светодиодных излучателей для светосигнальных приборов навигационных знаков.

## Излучатели светосигнальных приборов кругового и секторного действия

При разработке светодиодных излучателей для приборов кругового и секторного действия были приняты следующие основные технические решения:

для обеспечения равномерного распределения силы света по окружности в горизонтальной плоскости излучатель содержит восемь светодиодов в приборах кругового действия и три-четыре светодиода — в приборах секторного действия; угол между центральными осями пучков излучения светодиодов 45°, а угол излучения каждого светодиода  $2\theta_{0,5} = 60—70^\circ$ , что позволяет осуществить перекрытие световых потоков соседних светодиодов;

поскольку излучающие кристаллы структур GaAlAs, GaP:N, GaInAlP/GaP характеризуются сферической диаграммой направленности излучения, в конструкции каждого светодиода для обеспечения требуемого угла излучения  $2\theta_{0,5}$ , и увеличения осевой силы света применен эффективный отражатель и согласованная с ним полусферическая линза;

диаметр излучателя принят минимальным для наибольшего приближения его центра к фокусу цилиндрической линзы Френеля;

в связи с низким напряжением используемых для автономного питания гальванических батарей светодиоды электрически включены параллельно или параллельно-последовательно;

для равномерного распределения тока между параллельно включенными светодиодами предусмотрено последовательное включение с каждым из них ограничивающих ток резисторов.

Конструкция разработанных излучателей кругового действия типов У-178 А, В, Д, У-196 А, В, Д и У-200 А, В, Д приведена на рис. 1. Излучатели созданы на основе GaAlAs (красное свечение), GaP:N (зеленое свечение) и GaInAlP (желтое свечение). Излучающие кристаллы размером около 0,3×0,3 мм размещены на специализированных печатных платах. Излучатели типа У-178 А, В, Д содержат по одному кристаллу в каждом из восьми светодиодов. У излучателей

Таблица 1

## Максимальные оптические параметры современных светодиодов

Вид структуры; цвет излучения	$\lambda_{max}$ , нм	$\Delta\lambda_{0,5}$ , нм	$\lambda_{dom}$ , нм	Внешний квантовый выход излучения, $\eta_{vsh}$ , %	Свето- вая отдача, лм/Вт	Сила света, кд, при $I_{pr} =$ = 20 мА	Сила света на единицу мощности, кд/Вт
GaAlAs; красный	655	22	644	10,0	10	35	900
GaInAlP; красный	630	20	622	6,0	20	20	500
GaInAlP; красно-оранжевый	626	20	617	6,0	20	15	375
GaInAlP; оранжевый	609	20	605	6,0	20	7	175
GaInAlP; желтый	592— 594	20	590— 592	5,0	20	20	500
GaP:N; желто-зеленый	568	28	570	0,5	3	2,5	60
InGaN; зеленый	520	30	520	6,3	30	12	200
InGaN; синий	450	20	460	9,1	2	2,5	35
InGaN/AlGaN; фиолетовый	380	—	—	1,5	—	—	—

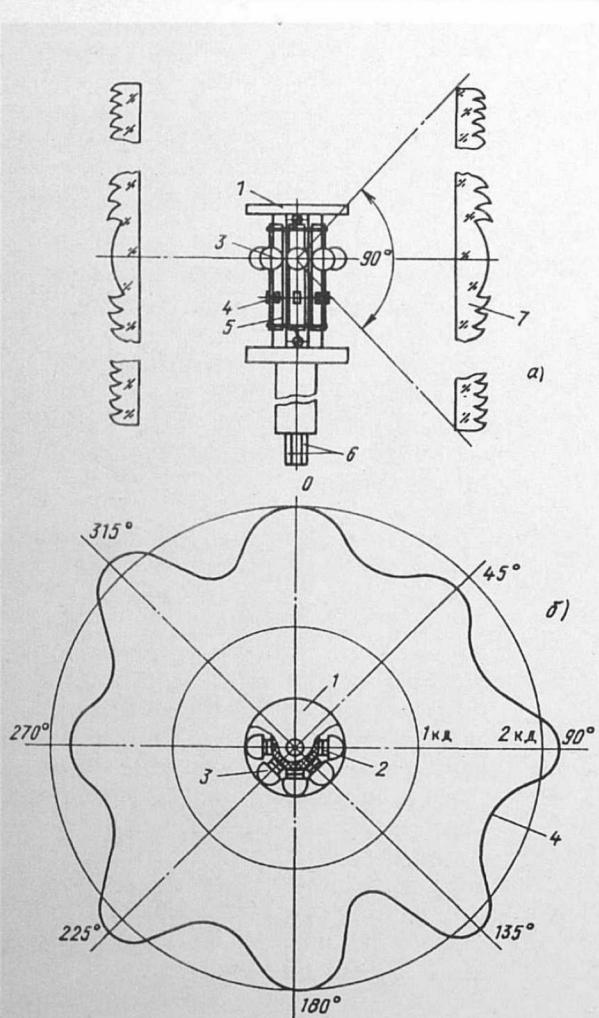


Рис. 1. Устройство (а) и диаграмма направленности излучения в горизонтальной плоскости (б) светодиодного излучателя кругового действия. Значения силы света приведены для излучателей типов У-178 А и У-178 Д:

1 — пластмассовая стойка; 2 — пластмассовый отражатель; 3 — полусферическая линза; 4 — чип-резисторы; 5 — бандаж параллельного соединения; 6 — гибкие провода; 7 — цилиндрическая линза Френеля

Каждый светодиодный излучатель снабжен отражателем высотой 1,1 мм с боковыми стенками под углом примерно 30° к геометрической оси отражателя и полимерной полусферической линзой диаметром 7,5 мм из материала с показателем преломления  $n = 1,55$ .

Линза и отражатель формируют необходимую индикаторную с углом излучения  $2\theta_{0,5} = 60—70^\circ$ . Печатные платы с размещенными на них светодиодами монтируются на восьмигранной пластмассовой стойке. Конструкция стойки обеспечивает удобное и надежное крепление излучателя в светосигнальном приборе.

Сопротивление резистора, включаемого последовательно с каждым светодиодом, выбирается таким образом, чтобы ток через кристалл был около 25 мА. При таком токе обеспечивается длительная высокостабильная работа излучателя. Для защиты излучателя от воздействия влажности окружающей среды его покрывают несколькими слоями лака ЭП-730.

Разработанные излучатели имеют высокие светотехнические параметры (табл. 2).

Угловая ширина пучка света светосигнального прибора в вертикальной плоскости при работе излучателей в цилиндрической линзе Френеля диаметром 90 мм составляет  $2\theta_{0,5} = (5 \pm 1)^\circ$  и  $2\theta_{0,1} = (10 \pm 2)^\circ$ .

Приборы секторного действия типов У-182 А, В, Д, У-198 А, В, Д и У-202 А, В, Д, имеющие ширину светового пучка

Таблица 2

Светотехнические и электрические параметры светодиодных излучателей кругового действия ( $\alpha = 360^\circ$ )

Тип излучателя	Сила света при использовании излучателя совместно с линзой Френеля диаметром 90 мм, кд					
	$U = 2,7$ В			$U = 5,4$ В		
	Не менее	Типовая	Максимальная	Не менее	Типовая	Максимальная
$I_{pr} = 200$ мА						$I_{pr} = 200$ мА
У-178 А	1,5	2,0	3,5	—	—	—
У-178 В	0,5	0,7	1,0	—	—	—
У-178 Д	1,5	2,5	4,0	—	—	—
$I_{pr} = 400$ мА						$I_{pr} = 400$ мА
У-196 А	5,0	6,0	8,0	—	—	—
У-196 В	1,2	1,8	2,0	—	—	—
У-196 Д	5,0	7,0	10,0	—	—	—
$I_{pr} = 200$ мА						$I_{pr} = 200$ мА
У-200 А	—	—	—	5,0	6,0	8,0
У-200 В	—	—	—	1,2	1,8	2,0
У-200 Д	—	—	—	5,0	7,0	10,0

Примечание: Буква А в наименовании излучателей означает красный цвет свечения с  $\lambda_{max} = (660 \pm 10)$  нм; В — зеленый цвет свечения с  $\lambda_{max} = (565 \pm 3)$  нм; Д — желтый цвет свечения с  $\lambda_{max} = (592 \pm 2)$  нм.

Таблица 3

**Световые и электрические параметры светодиодных излучателей направленного действия**

Тип свето-диода	Цвет свечения, $\lambda_{max}$ , нм	Сила света, кд			$U_{пр}$ , В, не более	Предельно допустимый постоянный ток, $I_{пр}$ , мА
		не менее	средняя	max		
<b>при токе 20 мА</b>						
У-114 А	Красный $660 \pm 10$	1,2	1,8	2,5	2,2	50
У-114 В	Зеленый $565 \pm 3$	0,4	0,5	0,6	2,8	30
У-114 Д	Желтый $592 \pm 2$	1,0	1,5	2,5	2,5	50
<b>при токе 50 мА</b>						
У-216 А	Красный $660 \pm 10$	2,5	4,0	5,5	2,0	80
У-216 В	Зеленый $565 \pm 3$	0,6	1,0	1,5	2,8	60
У-216 Д	Желтый $592 \pm 2$	2,0	3,5	5,0	2,5	80

Таблица 4

**Сила света створных сигнальных огней прибора ЭСПН-50 и их дальность действия при использовании разработанных светодиодов**

Тип светодиода	Ток через светодиод, мА	Сила света, кд	Дальность видимости, км (при $\tau = 0,84$ )
У-114 А, Д	40	80	7,5
У-114 В	30	25	5,0
У-216 А, Д	70	125	10,5
У-216 В	50	40	6,0

в горизонтальной плоскости  $\alpha = 130\text{--}180^\circ$ , выполняются аналогично приборам кругового действия, но их излучатели содержат три-четыре светодиода. Их светотехнические характеристики аналогичны характеристикам излучателей кругового действия типов У-178 А, В, Д, У-196 А, В, Д и У-200 А, В, Д при общем токе секторных приборов примерно вдвое меньшем, чем у приборов кругового действия. Дальность видимости светосигнальных приборов с цилиндрическими линзами Френеля (кругового и секторного действия) зависит от типа применяемого излучателя и находится в пределах 1–3,5 км при коэффициенте пропускания атмосферы  $\tau = 0,84$ .

Дальность видимости определяется по графикам [7] и подтверждена натурными испытаниями.

#### Дальность видимости излучателей

Тип излучателя	Дальность видимости, км ( $\tau^* = 0,84$ )
У-178 А, Д, У-182 А, Д	2,0
У-178 В, У-182 В	1,0
У-196 А, Д, У-198 А, Д,	
У-200 А, Д, У-202 А, Д	3,5
У-196 В, У-198 В,	
У-200 В, У-202 В	1,7

\*  $\tau$  — коэффициент пропускания атмосферы

Малый разброс значений  $2\theta_{0,5}$  легче обеспечить линзами большего диаметра, поэтому вместо широко распространенных светодиодов диаметром 5 мм был разработан светодиод диаметром 8 мм. Показатель преломления полимера  $n = 1,55$ . Для получения угла излучения  $8\text{--}12^\circ$  отношение  $S/R$  выбрано равным 1,95, где  $S$  — расстояние от кристалла до вершины полимерной линзы, а  $R$  — радиус линзы [8].

Светодиоды изготавливают из структур GaAlAs (красный цвет), GaP:N (зеленое свечение), GaInAlP (желтое свечение). Разработаны два типа светодиодов: типа У-114 А, В, Д, содержащие по одному излучающему кристаллу, и типа У-216 А, В, Д, содержащие по два излучающих кристалла для увеличения силы света.

Кристаллы размером  $0,3 \times 0,3$  мм размещаются на посадочной площадке рамочного держателя с встроенным отражателем высотой 0,3 мм с наклоном боковых стенок примерно  $45^\circ$ . Устройство светодиода показано на рис. 2.

Разработанные светодиоды характеризуются высокими светотехническими параметрами (табл. 3), что позволило получить сравнительно большие силы света створных приборов типа ЭСПН-50 и, соответственно, значительные дальности видимости сигнальных огней (табл. 4) при угле световых пучков  $2\theta_{0,5} = 3,5^\circ$ .

Угол излучения светодиодов  $2\theta_{0,5} = 8\text{--}12^\circ$ ;  $2\theta_{0,1} = 12\text{--}15^\circ$ , предельно допустимый импульсный ток 300 мА при среднем токе 20 мА для типа У-114 и 40 мА для типа У-216.

Время нарастания и спада импульса излучения не более 40 нс для светодиодов с красным и желтым свечением и не более 150 нс — для светодиодов с зеленым свечением.

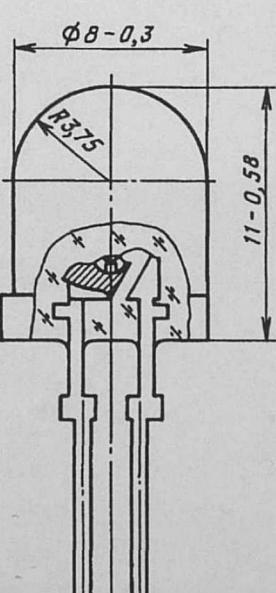
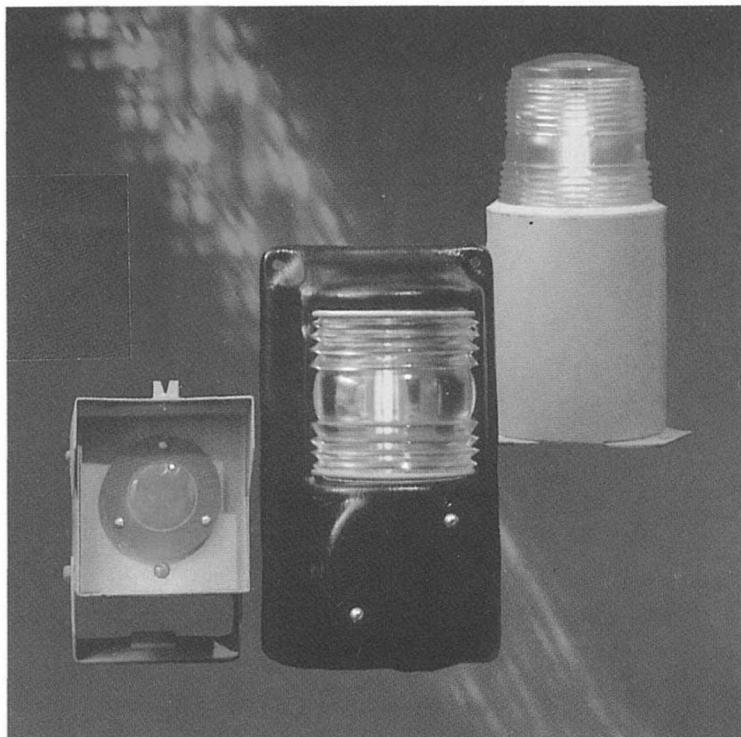


Рис. 2. Устройство светодиода для створных огней типов У-114 и У-216



*Рис. 3.  
Внешний вид  
излучателя с линзой  
Френеля диаметром  
90 мм (слева)*



*Рис. 4.  
Внешний вид приборов  
кругового, секторного  
и направленного  
действия (справа)*

Полупроводниковые излучатели, разработанные для светосигнальных приборов кругового и направленного действия, пригодны для эксплуатации в диапазоне температур от  $-40$  до  $+50$  °C и имеют срок службы 25 тыс. ч (в то время как ЛН имеют гарантированный срок службы 500 ч).

В последнее время разработаны двухцветные светодиоды (с красным и зеленым свечением) для створных приборов (тип У-236) [7]. Сила света их не менее 500 мкд при токе 40 мА для красного и зеленого свечения (среднее значение 700 мкд).

Внешний вид приборов кругового, секторного и направленного действия представлен на рис. 3 и 4.

#### Заключение

Учитывая высокие технико-экономические параметры приборов, описанных выше, можно рекомендовать конструкторам светосигнальной аппаратуры шире применять в своих разработках полупроводниковые излучатели. Следует отметить, что существует перспектива повышения силы света приборов кругового действия до 20 кд, а створных — до 1000 кд.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган Л.М. Новые светодиоды и устройства на их основе / Светотехника. 1997. № 3. С. 27–30.

2. Юнович А.Э. Светодиоды на основе гетроструктур из нитрида галлия и его твердых растворов / Светотехника. 1996. № 5/6. С. 2–7.

3. Ishimatsu S., Okuno Y. High efficiency GaAlAs LED / Optoelectronics devices and Technologies. 1989. Vol. 4. N1. P. 21–32.

4. Многопроходные гетероструктуры. Внешний квантовый выход излучения / Ж.И. Аллеров, В.Г. Агафонов, Д.З. Гарбузов и др. // Физика и техника полупроводников. 1976. Т. 10. Вып. 8. С. 1497–1506.

5. High-Brightness InGaN Blue, Green and Yellow Light-Emitting Diodes with Quantum Well Structures / A. Nakamura, M. Senoh, N. Jwasa, S. Nagahama. // Jap.J.Appl.Phys. 1995. Vol. 34. Part 2. N7A. P. 797–799.

6. Superbright InGaN Blue and Green LED with QWS / A. Nakamura, M. Senoh, N. Jwasa e.a. // Jap.J.Appl.Phys. 1995. Vol. 34. Part 2, N10B. P. 1332–1335.

7. Шмерлинг И.Е. Навигационное оборудование внутренних водных путей. М.: Транспорт. 1988. 224 с.

8. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М.: Энергоатомиздат. 1983. 208 с.



**Коган  
Лев  
Моисеевич,**  
доктор технических  
наук, окончил МЭИ  
в 1958 г.  
Начальник отдела  
оптоэлектронных  
приборов АООТ  
“Старт”



**Шмерлинг  
Исаиф  
Ефимович,**  
кандидат технических  
наук, окончил два  
института: ЛИВТ  
(Ленинградский ин-т  
водного транспорта) —  
1944 г. и МЭИС —  
1961 г.). Заведующий  
лабораторией в МГАВТ

## НОВЫЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

**Министерством здравоохранения РФ утверждено  
Руководство “Использование ультрафиолетового  
бактерицидного излучения для обеззараживания  
воздуха и поверхности в помещениях”**

**РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА НАМЕЧАЕТ ОПУБЛИКОВАТЬ ЭТОТ ВАЖНЫЙ ДОКУМЕНТ В № 4 ЗА 1998 ГОД  
ДЛЯ ПРИОБРЕТЕНИЯ ЭТОГО НОМЕРА ЖУРНАЛА НЕОБХОДИМО ОБРАТИТЬСЯ В РЕДАКЦИЮ**

**129626, Москва, пр. Мира, 106**

**Тел./факс 287•87•46**