

РАЗРАБОТКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ*Гридин В.Н.¹, Зайцев С.Н.², Рыжиков И.В.¹, Щербаков Н.В.³**¹ Центр информационных технологий в проектировании РАН,**² Московский государственный университет приборостроения и информатики,**³ ООО «РОСНАНОСВЕТ»***Аннотация**

Разработана патентно-чистая технология и конструкция нового поколения эффективных, мощных, экономичных, надёжных, радиационно-стойких, экологически чистых полупроводниковых источников света для освещения улиц, площадей, фасадов зданий и других объектов. Основными элементами источников освещения являлись не дискретные светодиоды, а светодиодные модули, содержащие более пяти гетероструктур. Выбраны оптимальные по структуре и размерам гетероструктуры на медном основании и алюмо-иттриевые люминофоры различного состава, активированные церием и празеодимом, которые позволили получать источники с цветовой температурой 2850-7000 К. Предложена математическая модель, которая позволила вывести аналитические люмен-амперные характеристики гетероструктур. Приоритетные исследования воздействия проникающей радиации на светодиодные модули с синим и белым цветом свечения позволили установить исключительно высокую радиационную стойкость как гетероструктур, так и люминофоров любого состава.

Ключевые слова: светодиод, светодиодный модуль, гетероструктура, алюмо-иттриевый люминофор, цветовая температура, полупроводниковый источник освещения.

Введение

В настоящее время мы являемся свидетелями и участниками научно-промышленной революции в области оптоэлектроники и светотехники – массовой замены традиционных источников освещения: ламп накаливания, электролюминесцентных ламп и других – полупроводниковыми аналогами, которые отличаются высокой эффективностью, надёжностью, экономичностью, экологической безопасностью и большим сроком безотказной работы (свыше 100000 часов) [1–19].

Весьма актуальной является разработка и организация производства не дискретных светодиодов, а светодиодных модулей. Технология должна быть гибкой (ГАЛ и ГАП), легко перестраиваемой в течение 1–2 месяцев на выпуск широкой номенклатуры изделий по требованию заказчика [11–13, 16–18]. Технология должна обеспечивать выпуск светоизлучающих приборов двойного назначения: гражданского и спецприменения (в космической и бортовой аппаратуре, а также ядерной электронике). В последнем случае необходима оценка надёжности разрабатываемых изделий путём проведения механических, климатических и life time испытаний.

Светодиодные модули, применяемые в спецаппаратуре, должны соответствовать определённой группе стойкости. Поэтому актуальной задачей является проведение испытаний по воздействию нейтронного, электронного и гамма-облучения на электрические и светотехнические параметры и характеристики.

Гетероструктуры большой площади для мощных светодиодов на медном основании

Из литературы известно, что в большинстве случаев гетероструктуры выращиваются на сапфировой подложке. Тепловое сопротивление в этом случае составляет порядка 15°C/Вт. Фирмой Cree выращи-

ваются гетероструктуры на карбидокремниевой подложке, теплопроводность которой существенно ниже. Однако в этом случае светодиоды (СД) значительно дороже и по параметрам уступают СД на сапфировой подложке [4–8, 21].

Поэтому нами были использованы гетероструктуры, выращенные на сапфировых подложках. Затем последние стравливались и заменялись подложками из медного сплава, которые по теплопроводности и низкой стоимости превосходили подложки из карбида кремния [12, 17–19].

Для СД с двумя верхними контактами, выращенных на сапфировых подложках, используют два типа монтажа: с нормальным расположением кристалла (эпитаксиальный слой сверху) и с перевёрнутым кристаллом (флип-чип монтаж), применяемым для улучшения теплоотвода.

При использовании гетероструктур на медной подложке необходимость во флип-чип монтаже, естественно, отпадает, что существенно упрощает и удешевляет сборку СД и светодиодных модулей.

Однако в данных гетероструктурах 50% излучаемого света поглощается металлическим основанием. Для увеличения эффективности излучения между кристаллами нитрида галлия и медным основанием формировали отражающее покрытие на основе сплавов серебра.

Использование текстурированной поверхности чипа максимально увеличивает эффективность вывода света примерно на 30%.

В данной работе нами использованы гетероструктуры размером 1520×1520 мкм на медном основании (рис. 1).

Для создания источников освещения использовались два типа чипов с одной и множественными квантовыми ямами, излучающими в синей и ближней УФ области спектра.

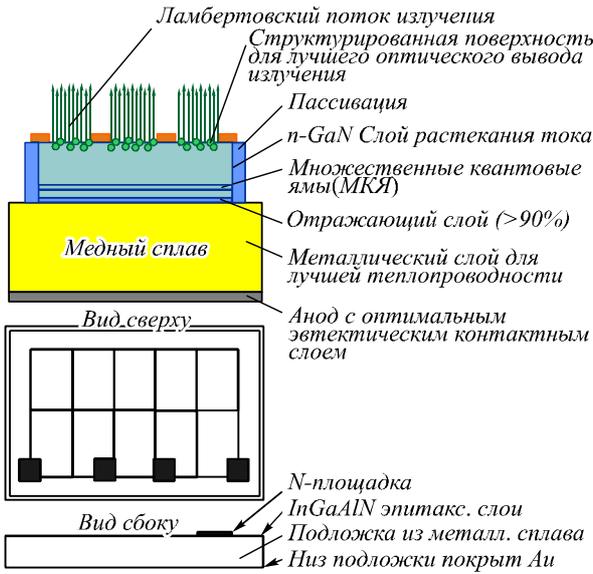


Рис. 1. Поперечное сечение и вид сверху чипа на медной подложке

Квантовые ямы шириной 28–30 Å в структурах I типа расположены в минимумах пространственного распределения примеси ($N_D = 10^{17} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Состав (величина X) и ширина квантовой ямы определяют цвет свечения. Ямы разделены более широкозонными барьерами, легированными до уровня $(2-6) \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Структуры II типа имели два гетероперехода, которые инжектировали электроны и дырки в оптически активную компенсированную область, содержащую одну-две квантовые ямы. Ширина квантовых ям у структур II типа составляла 30–40 Å, и механизмом возбуждения электролюминесценции являлась двойная инжекция. Из-за высокого удельного сопротивления материала в компенсированном слое имеет место режим высокого уровня инжекции.

В отличие от структур II типа механизмом возбуждения электролюминесценции в структурах I типа являлась инжекция носителей в оптически активную область, расположенную на границе компенсированного слоя и переменного-легированной сравнительно низкоомной области.

Вследствие близости эффективной оптически активной области к гетеропереходу, инжектирующему дырки в эту область, наличия нескольких квантовых ям, эффективность структур I типа на 30–50% выше.

Так как в структурах I типа ширина компенсированного слоя не превышала 0,02 мкм, низкоомные области на 1–2 порядка более легированы, чем в структурах II типа, то прямое падение в первых было на 0,8–1,3 В ниже, чем у вторых.

Т.к. разрабатываемые источники освещения предназначены не только для гражданского, но и спецприменения, то значительный интерес представляет их устойчивость к действию проникающей радиации. Поэтому вольт-люмен-амперные характеристики гетероструктур и СД измерялись до и после облучения нейтронами и гамма-квантами.

Источником нейтронов с энергией 2,65 МэВ являлся горизонтальный канал реактора ИРТ-2000 Московского государственного физико-технического университета с устройством, позволяющим варьировать спектр нейтронов. Энергию измеряли активационным методом, а плотность потока – с помощью серных пороговых детекторов. Для пересчёта флуенса с энергией 2,65 МэВ в стандартный флуенс с энергией $\geq 0,1 \text{ МэВ}$ использовали соотношение

$$\Phi > 0,1 = g \times 0,1 \times \Phi \times 2,65,$$

где фактор $g \times 0,1 = 4,7$.

Источником гамма-квантов с энергией 1,25 МэВ являлась кобальтовая пушка ГУ-2000.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) гетероструктур представлены на графиках рис. 2 и 3 [22–23].

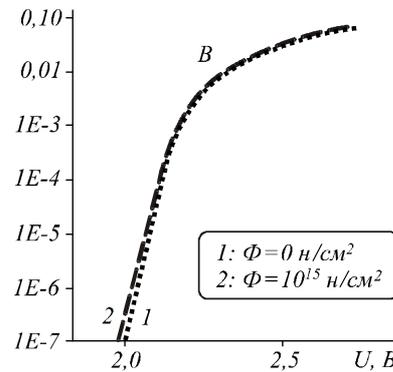


Рис. 2. ВАХ гетероструктуры с синим цветом свечения до (1) и после (2) облучения нейтронами

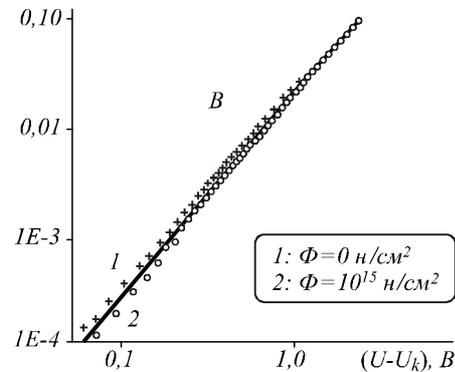


Рис. 3. Степенной участок ВАХ гетероструктуры до (1) и после (2) облучения нейтронами

Они состояли из двух участков:

$$I = I_s \exp\left(\frac{eU}{\beta kT}\right) \text{ и } I = B(U - U_k)^n. \quad (1)$$

На графиках (рис. 4) показаны зависимости «фактора неидеальности» β экспоненциального участка ВАХ гетероструктуры.

Из экспериментальных данных, представленных на рис. 4, следует, что «фактор неидеальности» в широком интервале напряжений, токов и флуенсов нейтронного облучения $\beta = 1,93 - 2,05$, что в пределах погрешности эксперимента совпадает с теоретическими значениями $\beta = 2,0$ при рекомбинации носителей в области пространственного заряда ге-

тероперехода или в компенсированном слое $p-n^*-n$ -гетероструктуры в режиме высокого уровня инжекции.

Сравнение люмен-амперных и люмен-вольтных характеристик позволило установить, что преобладает второй случай.

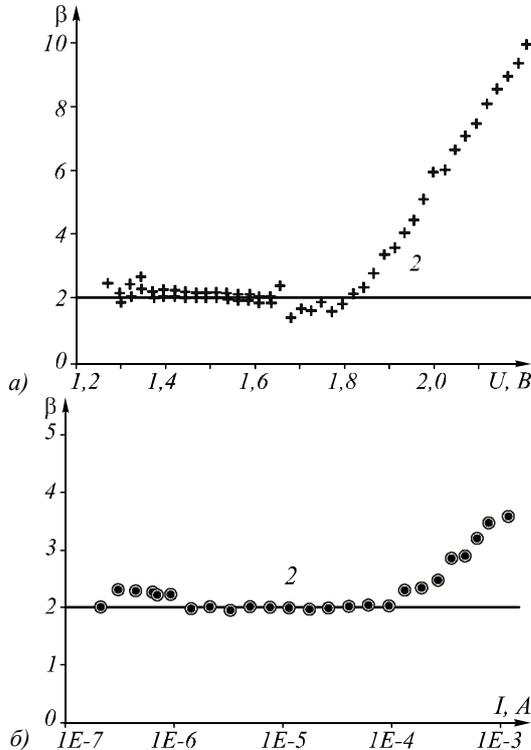


Рис. 4. Зависимость «фактора неидеальности» β от напряжения (а), тока (б)

Расчётные значения «тока насыщения» j_s в этом случае выглядят следующим образом [24]:

$$j_{s_1} = \frac{edn_i}{\tau_p}; \quad j_{s_2} = \frac{2e\sqrt{D_p}n_i}{\sqrt{\tau_p}}; \quad (2)$$

соответственно в случае преобладания рекомбинации в компенсированном слое «короткого» ($d/L_p \leq 1$) и «длинного» ($d/L_p \geq 3$) СД.

В выражении (2) e – заряд электрона; d – ширина компенсированного слоя; D_p, τ_p – коэффициент диффузии и время жизни дырок в компенсированном слое; n_i – концентрация носителей в материале собственной проводимости.

Слабая зависимость «тока насыщения» j_s от облучения свидетельствует о высокой радиационной стойкости гетероструктур на основе твёрдого раствора нитрида галлия индия.

Число глубоких центров, генерируемых облучением и снижающих безызлучательное время жизни в квантовых ямах, сравнимо с их концентрацией в исходном материале.

Степенные участки ВАХ с $n=2,0$ находят естественное объяснение в рамках диффузионной модели Клайнмена для структур I типа с тонкой компенсированной областью и дрейфовой Рашба–Толпыго для

структур II типа с относительно широким компенсированным слоем. Аналитические зависимости коэффициента B в первом и втором случае имеют следующий вид [25, 26]:

$$B = \left(\frac{e}{kT}\right) \left(\frac{eD_p}{d^2}\right) \frac{b(b+1)(N_0^i L_p^i)}{\ln^2(\sqrt{K})};$$

$$B = \frac{9}{8} \cdot \frac{e\mu_n\mu_p(n_0 - p_0)\tau_p}{d^3}, \quad (3)$$

где $N_0^i L_p^i$ – среднее значение параметров материала в переменнo-легированной n -области; n_0, p_0, μ_n, μ_p – концентрации носителей и подвижности в компенсированном слое.

Люмен-амперные характеристики гетероструктур первого и второго типа представлены на графиках (рис. 5).

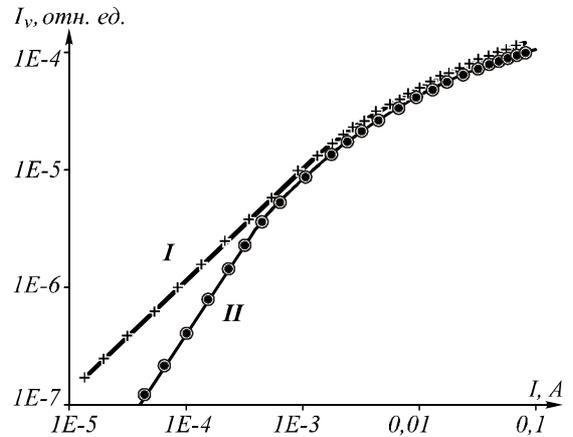


Рис. 5. Люмен-амперные характеристики AllnGaN гетероструктур с синим цветом свечения I и II типа

Показатель m степенной зависимости силы света от тока $I_v = bI^m$ на экспоненциальном участке ВАХ равнялся 1,0–2,0, а на степенном $m \rightarrow 0,5$ (рис. 6), что согласуется с расчётом [22, 23].

На графиках рис. 7 представлены люмен-амперные характеристики (ЛАХ) гетероструктур I и II типа до и после облучения нейтронами и гамма-квантами.

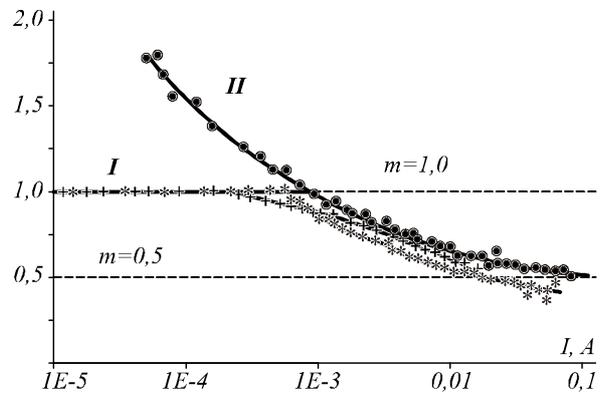


Рис. 6. Экспериментальные зависимости показателя степени люмен-амперной характеристики AllnGaN гетероструктур I и II типа

Следует отметить исключительно высокую радиационную стойкость особенно гетероструктур первого типа. Экспериментальные ЛАХ хорошо согласуются с расчётными.

Действительно, на экспоненциальном участке ВАХ [22, 23]:

$$I_V = \frac{\gamma_p W \tau_p}{2e \tau_R d} \cdot j; \quad I_V = \beta \frac{\gamma_p \gamma_n W \tau_p^2}{4e^2 d^2} \cdot j^2 \quad (4)$$

в случае линейной или «квадратичной» скорости излучательной рекомбинации в квантовой яме. Здесь τ_R – излучательное время жизни; β – коэффициент излучательной рекомбинации носителей в квантовой яме; W – ширина ямы.

На степенном участке ВАХ:

$$I_V = \frac{\gamma_n W \sqrt{\tau_p} \sqrt{n_0}}{\sqrt{e} \tau_R \sqrt{(b+1)d}} \sqrt{j};$$

$$I_V = \frac{\gamma_n W \sqrt{\tau_p} (N_0' L_p')^2}{\sqrt{ed} \tau_R (b+1)} \cdot \sqrt{j}, \quad (5)$$

соответственно для диффузионной модели Клаймена и дрейфовой Рашба–Толпыго [22].

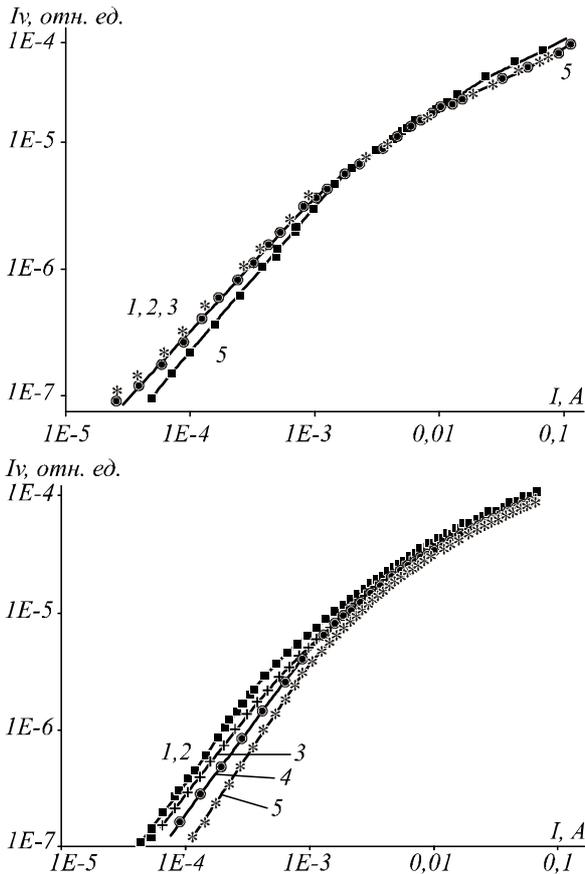


Рис. 7. Люмен-амперные характеристики гетероструктур с синим цветом свечения I и II типа до и после облучения нейтронами и гамма-квантами.

Φ , н/см²; D , рад: 1, 2 – $\Phi=0$, 10^{12} ; $D=0$, 10^6 ; 3 – $D=10^7$; 4 – $\Phi=10^{14}$; 5 – $\Phi=10^{15}$.

Аналитические зависимости согласуются с экспериментальными, в частности, объясняя линейную или сверхлинейную ($I_V \sim I^2$) зависимость силы света от тока на экспоненциальном участке ВАХ, сублинейную ($I_V \sim \sqrt{I}$) – на степенном, и более высокую скорость радиационной деградации на первом участке, на котором $I_V \sim \tau_p$ или τ_p^2 , в то время как на втором участке $I_V \sim \sqrt{\tau_p}$.

Фотолуминофор на основе алюмо-иттриевого граната с различным соотношением компонент, активированный церием и празеодимом

Используемый в данной работе люминофор имел следующую химическую формулу: $A_3B_5O_{12}$, где А и В – химические элементы, О – кислород. Среди большой группы гранатов выделяется алюмо-иттриевый гранат (АИГ–YAG) с химической формулой $Y_3Al_5O_{12}$. В качестве оптически активных добавок применялись редкоземельные элементы (РЗЭ), их оксиды и другие соединения. Оптической активностью обладает большинство РЗЭ. Для легирования YAG-люминофоров, применяемых в источниках белого света, чаще всего используется церий [15, 21].

При частичном замещении атомов Y атомами Gd и атомов Al атомами Ga меняются оптические характеристики YAG-люминофоров. Результирующий химический состав люминофора в таком случае можно описать формулой $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$. На рис. 8 показаны спектры излучения люминофоров $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$, легированных церием при разных значениях X и Y, а на рис. 9 – спектры излучения люминофоров, активированных празеодимом.

Добавка гадолиния приводит к сдвигу спектра излучения в длинноволновую сторону, а добавка галлия вызывает сдвиг в противоположном направлении – в сторону коротких волн. Для получения более тёплых оттенков белого света в люминофор вводили празеодим. Для повышения временной стабильности увеличивали содержание галлия.

На рис. 10 показано положение спектра люминофоров на основе YAG:Ce и гетероструктуры на цветовой диаграмме МКО.

В колориметрической системе Международной комиссии по освещению (МКО 1931, стандарт CIE) чистые цвета соответствуют точкам на дугообразной кривой диаграммы рис. 10, а область белого цвета расположена в центре этой диаграммы. На диаграмме рис. 10 показано расположение точек для стандартных источников белого цвета с различной цветовой температурой – от 2856 К (лампа накаливания) до лампы дневного света (6500 К) и выше.

Если координаты цветности источника света лежат внутри диаграммы, то они должны рассматриваться как источники смешанного белого и монохроматического света.

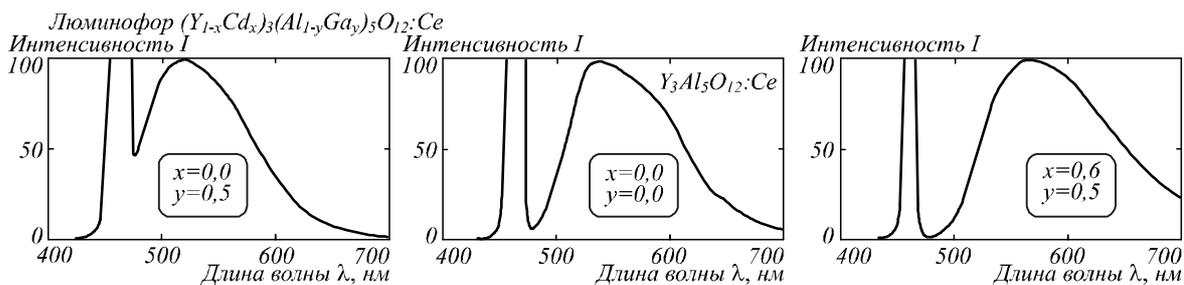


Рис. 8. Спектры излучения алюмо-иттриевого граната, активированного церием при различных соотношениях компонент X и Y в InGaN-гетероструктуры

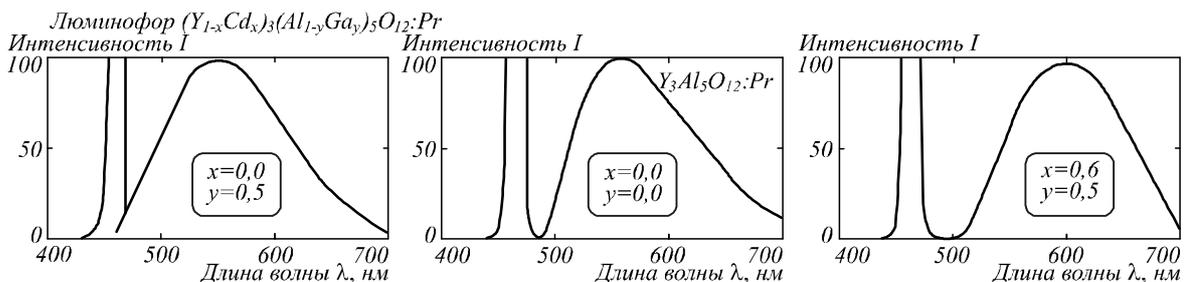


Рис. 9. Спектры излучения алюмо-иттриевого граната, активированного празеодимом при различных соотношениях компонент X и Y в InGaN-гетероструктуры

Первоначально предполагалось сформировать плёночное покрытие из зёрен люминофора непосредственно на излучающей поверхности гетероперехода. Однако оказалось, что доля площади непокрытых излучающих граней кристалла составляет 10–15%, что даёт в суммарном излучении нескомпенсированное излучением фотолюминофора дополнительное синее излучение.

Необходимо было построить равнотолщинную фигуру из плёночного люминофорного покрытия, в котором исключались бы все нескомпенсированные излучательные участки поверхности гетероперехода. Для достижения этого результата была разработана оригинальная конструкция и технология [12–15].

Необходимым условием являлось достижение равномерности покрытия с целью получения однородного белого свечения без его дифракционного разложения на синюю и жёлтую составляющие. Для достижения этой цели третьим компонентом в состав люминофор-полимерной композиции вводился оптический рассеиватель из неорганических материалов с высоким коэффициентом отражения (SiO₂, TiO₂, ZrO₂). Было показано, что минимальное количество (по массе) рассеивателя можно использовать при соотношении удельных поверхностей зёрен фотолюминофора и оптического рассеивателя 4103 см²/г: 100103 см²/г.

Значения координат цветности позволяют найти две его важнейшие характеристики: цветовую тональность, определяемую доминирующей длиной волны λ_F, и цветовую насыщенность, определяемую чистотой цвета как отношение отрезков (W–F) и (W–λ_F).

В колориметрической системе МКО синий цвет излучения гетероструктуры InGaN располагается в левом нижнем углу цветового графика. Его координаты X_B=0,12–0,14, Y_B=0,02–0,03 для λ_B=455–460 нм.

По принципу дополнительных цветов Ньютона сопряжённый цвет должен находиться на пересечении прямой, проходящей через точку с координатами X_B и Y_B, и точку W, отвечающую белому цвету (white) с координатами X_W=0,31, Y_W=0,32, с локусом (огibaющей) колориметрической системы МКО. Эта точка находится в области чистых цветов с λ_F=573–575 нм.

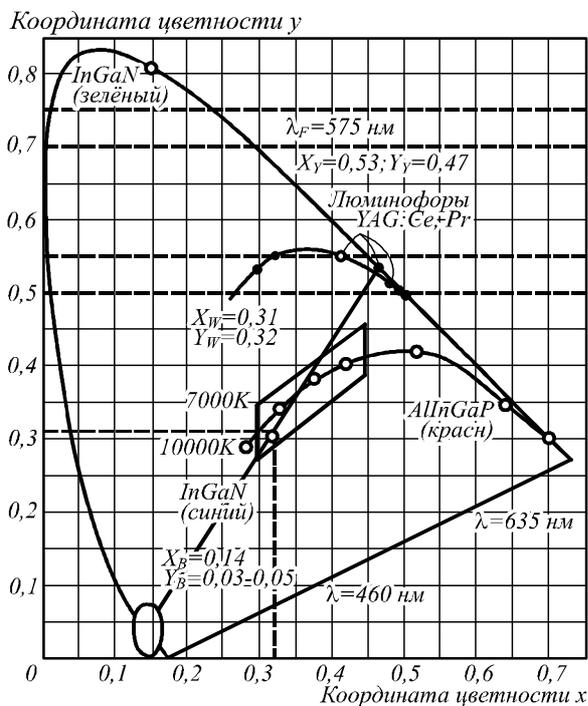


Рис. 10. Цветовой график МКО 1931 с локусами (огibaющими) спектрально чистых цветов и зонами, соответствующими белому свету с различной цветовой температурой

Возможны два метода определения дополнительного цвета: расчётный и графический, основанный на использовании цветовой диаграммы МКО-31.

Оба эти варианта были нами использованы и позволили оценить значение длины волны жёлтой фотолюминесценции $\lambda = 573 - 575$ нм с координатами цветности $X = 0,53$, $Y = 0,47$.

Для оценки радиационной стойкости люминофора нами были проведены сравнительные исследования СД с InGaN-гетероструктурой синего цвета и СД аналогичной конструкции с InGaN-гетероструктурой и алюмо-иттриевым фотолюминофором. В результате была установлена исключительно высокая стойкость люминофора, превосходящая стойкость гетероструктур [28–30].

Разработка конструкции и универсальной технологии изготовления светоизлучающих модулей для источников освещения нового поколения

Крупные зарубежные производители мощных светодиодов, такие как Cree, Osram, Nichia, Luxeon, Seoul Semiconductor, Edison Opto, в РФ «Оптоган» для упрощения технологии изготовления источников освещения и расширения областей применения светодиодов изготавливают их в виде светодиодных модулей или кластеров на печатных платах с металлическим основанием. Светодиодные модули представляют собой готовые к подключению изделия.

Нами совместно с сотрудниками ЗАО «Пола+» впервые в РФ была предложена и реализована принципиально новая chip-on-board (чип на плоскости) технология создания светодиодных модулей.

Отличительной особенностью данной технологии является автоматическая посадка чипов непосредственно на плоскость группового основания, которое одновременно выполняет функцию несущей платы с элементами крепления, управления и теплоотвода. Сбор излучения осуществляется линзовыми крышками, изготовленными из прозрачного поликарбоната. Причём в основном используются моноблоки из шести и более линз.

С целью увеличения угла сбора излучения от отдельного светоизлучающего кристалла полость в крышке над ним выполняется с конической поверхностью, направленной растробом в сторону внешней поверхности крышки, причём поверхности полости придаются дополнительные отражающие свойства, отполировав или покрыв её светоотражающим слоем, например, из алюминия.

В процессе разработки нового поколения источников освещения нами был применён новый подход, который заключался в качественно ином использовании дисперсной среды.

Последняя дозированно и с равномерным распределением вводилась в полость в основании линзы, и для обеспечения такого введения в подложке предусмотрено два отверстия – входное и выходное.

Введение заканчивалось, когда из выходного отверстия в полости начинала появляться иммерсион-

ная дисперсионная среда, т.е. когда полость полностью и надёжно заполнялась. Это приводит к повышению технологичности изготовления изделий.

Введение дисперсной среды в полость увеличивает угол излучения в 1,5 раза и силу света в 2 раза.

Печатные платы с алюминиевым основанием

Наиболее распространённым материалом для мощных светодиодных модулей служат алюминий и медь. Нами использовалось алюминиевое основание толщиной 1,5 мм.

Алюминиевые основания легче и дешевле медных. Однако главное их достоинство заключается в том, что после воздействия нейтронного облучения они обладают незначительным «послесвечением» в отличие от плат из меди, вследствие чего могут использоваться в спецтехнике.

На рис. 11 показана конструкция печатной платы на металлическом основании.

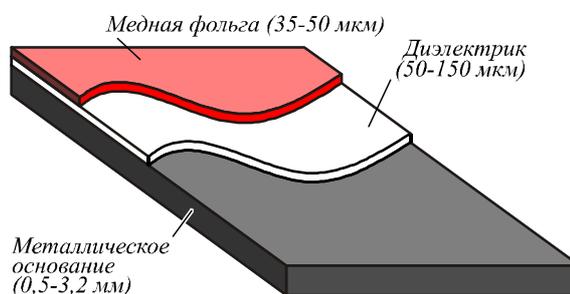


Рис. 11. Конструкция печатной платы на металлическом основании

Медная фольга служит для формирования проводящего рисунка. Используется стандартная для производства печатных плат медная фольга толщиной в несколько десятков мкм. Диэлектрик – стеклоткань, пропитанная эпоксидными смолами толщиной 50–150 мкм. Он играет роль изолятора между токопроводящим рельефом и алюминиевым основанием.

В качестве диэлектрика может использоваться как обычная эпоксидная стеклоткань FR-4, так и специальный теплопроводящий состав (T-preg), который обладает лучшими теплопроводными и электроизоляционными свойствами. Он представляет собой химически стойкую структуру с высокой теплопроводностью толщиной 75–200 мкм, изготовленную из особого диэлектрика – смеси полимера со специальной керамикой. Полимер выбирается исходя из его диэлектрических свойств, тогда как керамический наполнитель предназначен для улучшения теплопроводности. Благодаря этому материал имеет отличные диэлектрические свойства и очень низкое тепловое сопротивление. Основные сравнительные характеристики диэлектриков приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики диэлектриков

Параметр	FR-4	T-preg
Теплопроводность, Вт/°С	0,3	1–5
Диэлектрическая прочность, кВ/мм	20	24–31

В случае использования металлических плат исчезает необходимость в дополнительных теплоотводах – радиаторах, шинах и т.п. В итоге возрастает степень интеграции элементов на плате, снижаются её габариты. Возможность объединения на одной печатной плате множества чипов, монтаж компонентов с помощью стандартных автоматизированных технологий пайки, малая теплоотдача – всё это в комплексе позволяет создавать компактные высокоэффективные источники света.

При разработке источников освещения необходимо учитывать, что максимально допустимый ток через одну гетероструктуру составляет 1,5 А.

Лампа накаливания мощностью 100 Вт, обладающая эффективностью 15 лм/Вт, способна давать световой поток 1500 лм.

То же количество света будет производить люминесцентная лампа мощностью 30 Вт при эффективности 80 лм/Вт.

Для адекватной замены лампы накаливания полупроводниковой лампой при эффективности последней 50 лм/Вт ток через светодиодный модуль должен составлять 6 А при напряжении 5 В. Описанные выше СД способны работать при токе порядка 1 А. Следовательно, полупроводниковая лампа мощностью 100 Вт, являющаяся аналогом лампы накаливания, должна содержать, как минимум, шесть гетероструктур, объединённых в одну конструкцию механически, электрически и оптически. То же самое относится к другим светодиодным устройствам, в частности, к полупроводниковым аналогам люминесцентных ламп.

Линзовые крышки

Линзовая крышка представляет собой оптическую деталь, полученную методом трансферного литья. Производство линзовых крышек требует наличия термопласт-автоматов, а также производственного бюро по конструированию и изготовлению литьевых форм высокой точности. Всеми этими комплексами обладают профильные оптические предприятия по производству оптических деталей. Поэтому производство линзовых крышек по нашему заказу выполнялось профильным предприятием.

Светодиодные модули

На основе chip-on-board технологии посадки гетероструктур на алюминиевое основание в определённом порядке, различном для СДУ разного назначения, и моноблоков линзовых крышек, также различных для полупроводниковых аналогов ламп накаливания, люминесцентных ламп и более сложных источников освещения, был разработан ряд конструкций светодиодных модулей, которые приведены ниже.

На рис. 12, 14 и 15 представлены габаритные чертежи трёх светодиодных модулей, которые использовались для изготовления источников освещения.

На рис. 13 приведена фотография светодиодного модуля 3×6×R Mon.

На основе данных модулей могут быть собраны полупроводниковые источники освещения с заданной силой света, излучающие в заданном телесном угле.

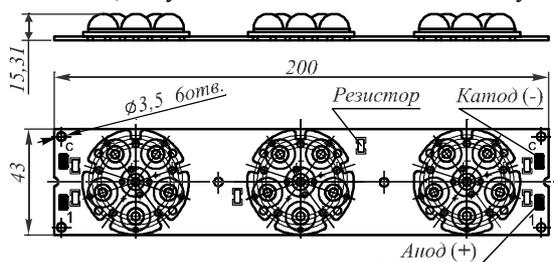


Рис. 12. Светодиодный модуль 3×6×R Mon
Таблица 2. Параметры светодиодного модуля, изображённого на рис. 12

Параметр	Значение
Сила света, Кд	8000
Цветовая температура, К	7000 – 8000
Диаграмма направленности излучения, град.	10
Прямой ток, А	2
Прямое напряжение, В	10 – 12

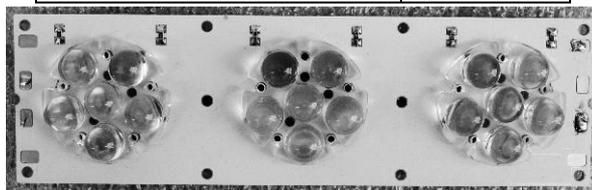


Рис. 13. Фотография светодиодного модуля 3×6×R Mon

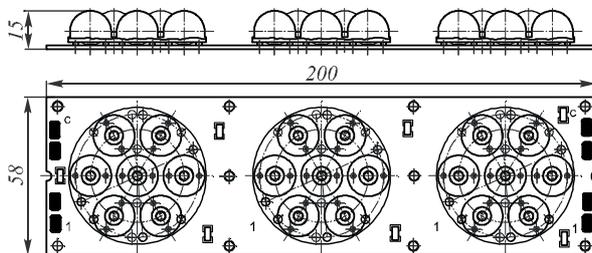


Рис. 14. Светодиодный модуль 3×7×R

Преимуществом использования модулей для создания широкой номенклатуры источников освещения по сравнению с использованием дискретных СД является универсальность, отсутствие необходимости в дополнительных теплоотводах и вторичной оптике.

Таблица 3. Параметры светодиодного модуля, изображённого на рис. 14

Параметр	Значение
Сила света, Кд	1200
Цветовая температура, К	7000 – 8000
Диаграмма направленности излучения, град.	60
Прямой ток, А	2,8
Прямое напряжение, В	12

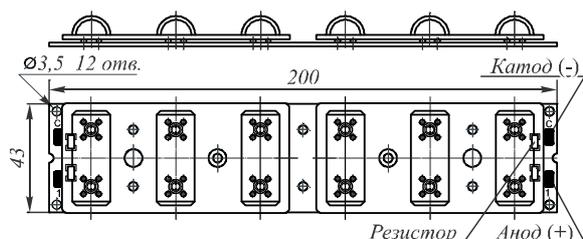


Рис. 15. Светодиодный модуль 3×4×R

Таблица 4. Параметры светодиодного модуля, изображённого на рис. 15

Параметр	Значение
Сила света, Кд	350
Цветовая температура, К	5000–6500
Диаграмма направленности излучения, град.	120×70
Прямой ток, А	1,6
Прямое напряжение, В	12

Кроме того, модули достаточно компактны для проведения механических, климатических и др. испытаний, включая облучение.

Эффективные (120 лм/Вт), мощные (100–500 Вт, до 250 000 Кд), надёжные (50 000 ч. безотказной работы), радиационно-стойкие, экологически чистые источники освещения с цветовой температурой 5000–7000 К

Специалистами Центра информационных технологий совместно с ЗАО «ПОЛА+» («Созидание») разработаны источники освещения нового поколения с силой света до 250 000 Кд.

Ниже приведены фотографии и основные технические характеристики полупроводниковых ламп, которые в настоящее время выпускает ЗАО «Созидание».

1) Полупроводниковая лампа прожекторного типа «Созвездие-3» на светодиодных модулях предназначена для освещения больших открытых пространств площадей, фасадов зданий, архитектурных памятников, строительных площадок, складских помещений. Рекомендуется применять для освещения объектов, расположенных на расстоянии 50–60 метров.

2) Макетный образец прожектора с потребляемой мощностью 240 Вт (эквивалент 1 кВт) предназначен для освещения площадей, строительных площадок, складских помещений, котлованов и других объектов, требующих большого освещённого пространства.

3) Макетный образец прожектора с изменяемой диаграммой излучения 10–30° и потребляемой мощностью 100 Вт предназначен для освещения площадей, фасадов зданий, архитектурных памятников, строительных площадок, складских помещений.

4) Макетный образец прожектора с потребляемой мощностью 500 Вт (эквивалент 2,5 кВт) и силой света 250 000 Кд предназначен для освещения стадионов, футбольных полей, котлованов, портов и

других объектов, требующих большого освещённого пространства.



Рис. 16. Фотография прожектора «Созвездие-3» мощностью 120 Вт

Таблица 5. Основные технические характеристики лампы «Созвездие-3»

№	Наименование параметра	Значение
1	Цвет свечения	Белый
2	Максимальная сила света, не менее, Кд	35000
3	Максимальная освещённость с 50 метров, не менее, Лк	10
4	Угол излучения источника света $2\theta_{0,1}$, град.	10
5	Цветовая температура источника света, °К	5000–7000
6	Номинальная потребляемая мощность, не более, Вт	120
7	Срок службы, ч.	50 000
8	Диапазон рабочих температур, °С	от –45 до +65
9	Масса, не более, кг	5
10	Габаритные размеры Д×Ш×В(максимальные), мм	450×222×127

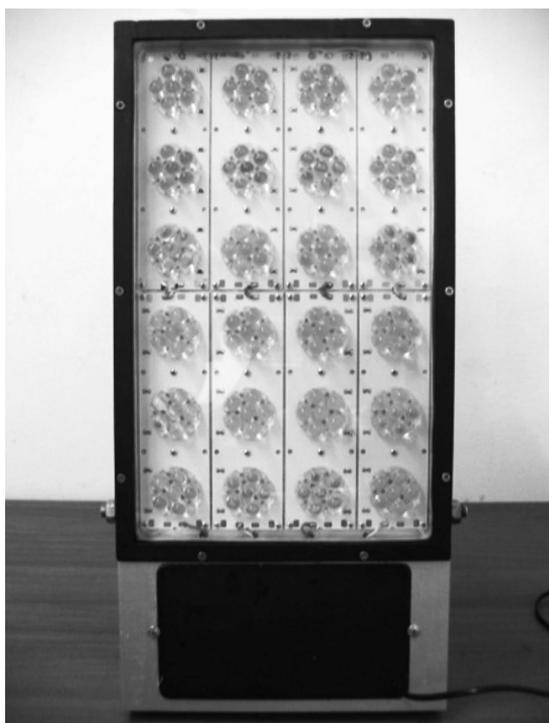


Рис. 17. Фотография макета лампы прожекторного типа мощностью 100 Вт и силой света 30000 Кд

Таблица 6. Основные технические характеристики макета прожектора с потребляемой мощностью 240 Вт (эквивалент 1 КВт)

№	Наименование параметра	Значение
1	Цвет свечения	Белый
2	Максимальная сила света, не менее, Кд	100 000
3	Максимальная освещённость с 50 метров, не менее, Лк	10
4	Угол излучения источника света $2\theta_{0,1}$, град.	10
5	Цветовая температура источника света, °К	5000 – 7000
6	Номинальная потребляемая мощность, не более, Вт	240
7	Срок службы, ч.	50 000
8	Диапазон рабочих температур, °С	от – 45 до + 65
9	Масса, не более, кг	7,5
10	Габаритные размеры Д×Ш×В(максимальные), мм	750 × 275 × 60



Рис. 18. Фотография макета лампы прожекторного типа мощностью 100 Вт силой света 30000 Кд

Таблица 7. Основные технические характеристики макета прожектора с изменяемой диаграммой излучения 10 – 30° и потребляемой мощностью 100 Вт

№	Наименование параметра	Значение
1	Цвет свечения	Белый
2	Максимальная сила света, не менее, Кд	30000
3	Максимальная освещённость с 50 метров, не менее, Лк	12
4	Угол излучения источника света $2\theta_{0,1}$, град.	10 – 30
5	Цветовая температура источника света, °К	5000 – 7000
6	Номинальная потребляемая мощность, не более, Вт	100
7	Срок службы, ч.	50 000
8	Диапазон рабочих температур, °С	от – 45 до + 65
9	Масса, не более, кг	7,5
10	Габаритные размеры Д×Ш×В(максимальные), мм	303 × 416 × 50

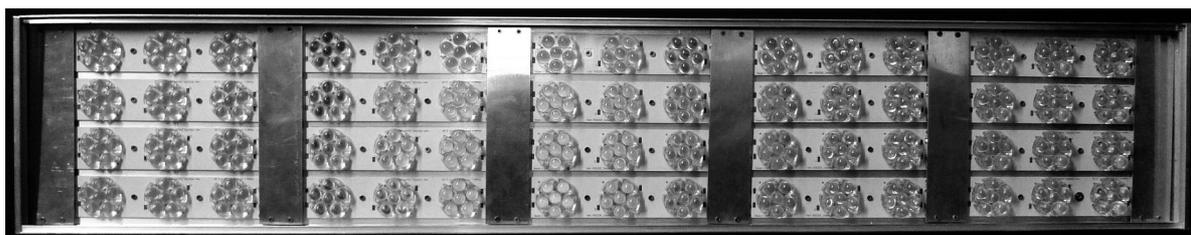


Рис. 19. Фотография макетного образца прожектора мощностью 500 Вт силой света 250000 Кд

Таблица 8. Основные технические характеристики макета прожектора с потребляемой мощностью 500 Вт (эквивалент 2,5 кВт)

№	Наименование параметра	Значение
1	Цвет свечения	Белый
2	Максимальная сила света, не менее, Кд	250000
3	Максимальная освещённость с 50 метров, не менее, Лк	12
4	Угол излучения источника света $2\theta_{0,1}$, град	12
5	Цветовая температура источника света, °К	5000 – 7000
6	Номинальная потребляемая мощность, не более, Вт	500
7	Срок службы, ч.	500 000
8	Диапазон рабочих температур, °С	от –45 до +65
9	Масса, не более, кг	12
10	Габаритные размеры Д×Ш×В(максимальные), мм	1500 × × 222 × 127

Заключение

В работе описаны технология и конструкция нового поколения эффективных, мощных, надёжных, радиационно-стойких, экологически чистых источников освещения прожекторного типа гражданского и спецприменения, по основным параметрам не уступающих лучшим зарубежным и отечественным аналогам.

Основным конструктивным элементом источников освещения являются светоизлучающие модули, содержащие более шести гетероструктур, расположенных на одной металлической плате, объединённых конструктивно этой платой, а также оптически – линзовой крышкой и схемой управления, расположенной на плате.

Вольт-амперные характеристики $p-n^*-n$ – гетероструктур описывались классическими диффузионными и дрейфовыми теориями двойной инжекции Холла, Клайнмена, Рашба–Толпыго и др., что позволило вывести аналитические люмен-амперные характеристики, удовлетворительно описывающие экспериментальные зависимости силы света от тока, напряжения, флуенса (дозы) облучения.

Литература

1. Алфёров, Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур / Ж.И. Алфёров // Физика и техника полупроводников. – 1988. – Т. 32, № 1. – С. 3-18.
2. Алфёров, Ж.И. Генерация лазерного излучения в субмонослойных структурах CdSe в матрице ZnSe без внешнего оптического ограничения / Ж.И. Алфёров, И.Л. Крестников, Н.Н. Леденцов, М.В. Максимов, А.В. Сахаров, С.В. Иванов, С.В. Сорокин, Л.Н. Те-

- нишев, П.С. Копьев // Письма в «Журнал технической физики». – 1997. – Т. 23, № 1. – С. 23-25.
3. Hodapp, M.W. High brightness light emitting diodes / M.W. Hodapp. – New York: NY Academic press, 1997. – P. 87-92.
4. Craford, G. Visible light emitting diodes: past, present and very bright future / George Craford // MRS bulletin. – 2000. – N 1. – P. 113-118.
5. Волков, В. Мощные полупроводниковые источники излучения / В. Волков, А. Закгейм, Г. Иткинсон, М. Мизеров, Б. Пушный // Электроника: наука, технология, бизнес. – 1999. – № 3. – С. 16-21.
6. Коган, Л.М. Светодиоды нового поколения для светосигнальных и осветительных приборов / Л.М. Коган // серия «Новости светотехники». – Вып. 7-8 (34-35) – М.: Дом Света, 2001. – 47 с.
7. Коган, Л.М. Светодиодные осветительные приборы / Л.М. Коган // Светотехника. – 2002. – № 5. – С. 16-20.
8. Schlotter, P. Fabrication and characterization of GaN/InGaNVAlGaN double heterostructure LEDs and their application in luminescence conversion LEDs / P. Schlotter, J. Baur, C. Rielscher, M. Kunzer, H. Obloh, R. Schmidt and J. Schneider // Materials Sci. Eng. – 1999. – B59. – P. 390.
9. Юнович, А.Э. Светодиоды как основа освещения будущего / А.Э. Юнович // Светотехника. – 2003. – № 3. – С. 2-7.
10. Бадгутдинов, М.Л. Мощные светодиоды белого свечения для освещения / М.Л. Бадгутдинов, Н.А. Гальчина, Л.М. Коган, И.Т. Рассохин, Н.П. Социн, А.Э. Юнович // Светотехника. – 2006. – № 3. – С. 36-40.
11. Юнович, А.Э. Исследования и разработки светодиодов в мире и возможности развития светодиодной промышленности в России / А.Э. Юнович // Светотехника. – 2007. – № 6. – С. 13-17.
12. Гридин, В.Н. Полупроводниковая лампа – источник освещения, альтернативный лампам накаливания и электролюминесцентным лампам / В.Н. Гридин, И.В. Рыжиков, В.С. Виноградов, В.Н. Щербаков // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 4. – С. 375-383.
13. Виноградов, В.С. Полупроводниковая лампа – новый источник освещения / В.С. Виноградов, И.В. Рыжиков, Н.Н. Руденко, С.Б. Сумин, А.С. Фирсов // Инновационные технологии в науке, технике и образовании, Т. 2. – М.: МГУПИ, 2008. – С. 3-19.
14. Кондратенко, В.С. Полупроводниковые источники освещения – революция в оптоэлектронике / В.С. Кондратенко, И.В. Рыжиков, А.В. Куроедов, В.С. Виноградов, А.С. Фирсов, Н.Н. Руденко // Вестник МГУПИ. – 2009. – № 17. – С. 131-142.
15. Абрамов, В.С. Белые светодиоды / В.С. Абрамов, Н.В. Щербаков, И.В. Рыжиков, В.П. Сушков, А.Э. Юнович // Светодиоды и лазеры. – 2002. – № 1-2. – С. 25-30.
16. Гридин, В.Н. Полупроводниковая лампа – новый, эффективный, надёжный и экологически чистый источник освещения / В.Н. Гридин, И.В. Рыжиков, В.Н. Щербаков // Экология промышленного производства. – 2007, октябрь. – № 4. – С. 48-52.
17. Щербаков, В.Н. Основные проблемы создания источников освещения на базе инжекционной люминесценции, альтернативных лампам накаливания и люминесцентным лампам / В.Н. Щербаков, В.С. Абрамов, И.В. Рыжиков // Приборы. – 2007. – № 5. – С. 45-56.
18. Рыжиков, И.В. Новый эффективный источник освещения – полупроводниковая лампа с люминофором / И.В. Рыжиков, В.Н. Щербаков // Информационные

- технологии в науке, технике и образовании. Том II. – М.: МГУПИ, 2007. – С. 36-46.
19. **Гридин, В.Н.** Полупроводниковая лампа – источник освещения будущего / В.Н. Гридин, И.В. Рыжиков, В.Н. Щербаков // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 7. – С. 63-65.
 20. **Windisch, R.** Impact of texture-enhanced transmission on high-efficiency surface-textured light-emitting diodes / R. Windisch, C. Rooman, M. Kuijk, G. Borghs and P. Heremans // Appl. Phys. Lett. – 2001. – Vol. 79, Issue 15. – P. 2315-2317.
 21. **Шуберт, Ф.Е.** Светодиоды / Ф.Е. Шуберт. пер. с англ. – Физматгиз, 2008. – 496 с.
 22. **Абдуллаев, О.Р.** Вольт-люмен-амперные характеристики р-п*-п-структур на основе твёрдых растворов фосфида и нитрида галлия индия алюминия (теория) / О.Р. Абдуллаев, В.С. Виноградов, И.В. Рыжиков // Инновационные технологии в науке, технике и образовании Т. 1. – М.: МГУПИ. – 2009. – С. 111-117.
 23. **Абдуллаев, О.Р.** Люмен-амперные характеристики р-п*-п-структур на основе твёрдых растворов фосфида и нитрида галлия индия алюминия (теория) / О.Р. Абдуллаев, В.С. Кондратенко, И.В. Рыжиков, В.С. Виноградов // Вестник МГУПИ. – 2009. – № 21. – С. 95-103.
 24. **Hall, R.N.** Power rectifiers and transistors / R.N. Hall // Proc. IRE. – 1952. – P. 1512-1518.
 25. **Kleinman, D.A.** Bell system / D.A. Kleinman // Techn. J. – 1956. – V. 35. – P. 685-69.
 26. **Рашба, Э.И.** Прямая вольт-амперная характеристика плоскостного выпрямителя при значительных токах / Э.И. Рашба, К.Б. Толпыго // ЖТФ. – 1956. – Т. 26, Вып. 7. – С. 1419-1426.
 27. **Кондратенко, В.С.** Сравнительное исследование воздействия проникающей радиации на светодиоды нового поколения на основе AlGaInP и AlGaInN гетероструктур / В.С. Кондратенко, О.Р. Абдуллаев, И.В. Рыжиков, В.С. Виноградов, А.С. Фирсов // Приборы. – 2009. – № 3. – С. 24-36.
 28. **Гридин, В.Н.** Исследование воздействия быстрых нейтронов и электронов на светодиоды с белым и синим цветом свечения / В.Н. Гридин, И.В. Рыжиков, В.С. Виноградов // Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА. – 2009. – № 1(75). – С. 27-32.
 29. **Gridin, V.N.** A Study of the Effect of Fast Neutrons and Electrons on White and Blue LEDs / V.N. Gridin, I.V. Ryzhikov and V.S. Vinogradov // Semiconductors. – 2009. – Vol. 43, Issue 13. – P. 1690-1694.
 30. **Виноградов, В.С.** Исследование воздействия быстрых нейтронов и электронов на светодиоды с белым цветом свечения / В.С. Виноградов, И.В. Рыжиков // Инновационные технологии в науке, технике и образовании Т. 2. – М.: МГУПИ. – 2009. – С. 20-29.
4. **Craford, G.** Visible light emitting diodes: past, present and very bright future / George Craford // MRS bulletin. – 2000. – N 1. – P. 113-118.
 5. **Volkov, V.** Power semiconductor light sources / V. Volkov, A. Zakgeym, G. Itkinson, M. Mizerov, B. Pushniy // Electronics: Science, Technology, Business. – 1999. – V. 3. – P. 16-21. – (In Russian).
 6. **Kogan, L.M.** LEDs are a new generation of lighting and lighting devices / L.M. Kogan // Light News. – V. 7-8(34-35). – Moscow: “Dom Sveta” Publisher, 2001. – 47 p.
 7. **Kogan, L.M.** LED lights / L.M. Kogan // Light and Engineering. – 2002. – N 5. – P. 16-20. – (In Russian).
 8. **Schlotter, P.** Fabrication and characterization of GaN/InGaN/AlGaIn double heterostructure LEDs and their application in luminescence conversion LEDs / P. Schlotter, J. Baur, C. Rielscher, M. Kunzer, H. Obloh, R. Schmidt and J. Schneider // Materials Sci. Eng. – 1999. – B59. – P. 390.
 9. **Yunovich, A.E.** LED lighting as a basis for future / A.E. Yunovich // Light and Engineering. – 2003. – N 3. – P. 2-7. – (In Russian).
 10. **Badgutdinov, M.L.** Powerful white LEDs for light illumination / M.L. Badgutdinov, N.A. Galchin, L.M. Kogan, I.T. Rassokhin, N.P. Soschin, A.E. Yunovich // Light and Engineering. – 2006. – N 3. – P. 36-40. – (In Russian).
 11. **Yunovich, A.E.** Research and development in the world of LEDs, and LED industry development opportunities in Russia / A.E. Yunovich // Light and Engineering. – 2007. – N 6. – P. 13-17. – (In Russian).
 12. **Gridin, V.N.** The semiconductor light is the light source, an alternative to incandescent lamps, and electroluminescent lamps / V.N. Gridin, I.V. Ryzhikov, V.S. Vinogradov, V.N. Shcherbakov // Computer Optics. – 2008. – V. 32, N 4. – P. 375-383. – (In Russian).
 13. **Vinogradov, V.S.** The semiconductor lamp a new source of lighting / V.S. Vinogradov, I.V. Ryzhikov, N.N. Rudenko, S.B. Sumin, A.S. Firsov // Proceedings of the International Scientific-Technical Conference “Innovative Technologies in Science, Engineering and Education”. V. 2. – Moscow: “MGUPI” Publisher, 2008. – P. 3-19. – (In Russian).
 14. **Kondratenko, V.S.** Semiconductor light sources is a revolution in optoelectronics / V.S. Kondratenko, I.V. Ryzhikov, A.V. Kuroyedov, V.S. Vinogradov, A.S. Firsov, N.N. Rudenko // Journal of MGUPI. – 2009. – N 17. – P. 131-142. – (In Russian).
 15. **Abramov, V.S.** White LEDs / V.S. Abramov, N.V. Shcherbakov, I.V. Ryzhikov, V.P. Sushkov, A.E. Yunovich // LEDs and lasers. – 2002. – N 1-2. – P. 25-30. – (In Russian).
 16. **Gridin, V.N.** The semiconductor lamp is a new, efficient, reliable and environmentally clean source of illumination / V.N. Gridin, I.V. Ryzhikov, V.N. Shcherbakov // Industrial Ecology. – 2007, october. – N 4. – P. 48-52. – (In Russian).
 17. **Shcherbakov, V.N.** The main problem of creating a source of illumination based on the injection luminescence, alternate incandescent and fluorescent lamps / V.N. Shcherbakov, V.S. Abramov, I.V. Ryzhikov // Instruments. – 2007. – N 5. – P. 45-56. – (In Russian).
 18. **Ryzhikov, I.V.** A new efficient source of illumination is a semiconductor lamp phosphor / I.V. Ryzhikov, V.N. Shcherbakov // Proceedings of the International Scientific-Technical Conference “Innovative Technologies in Science, Engineering and Education”, V. II. – Moscow: “MGUPI” Publisher, 2007. – P. 36-46. – (In Russian).

References

1. **Alferov, Z.I.** The history and future of semiconductor heterostructures / Z.I. Alferov // Journal of Applied Physics. – 1988. – V. 32, N 1. – P. 3-18. – (In Russian).
2. **Alferov, Z.I.** Lasing in submonolayer CdSe structures in a ZnSe matrix without external optical confinement / Z.I. Alferov, I.L. Krestnikov, N.N. Ledentsov, M.V. Maksimov, A.V. Sakharov, S.V. Ivanov, S.V. Sorokin, L.N. Tenishev, P.S. Kop'ev // Technical Physics Letters. – 1997. – V. 23(1). – P. 23-25. – (In Russian).
3. **Hodapp, M.W.** High brightness light emitting diodes / M.W. Hodapp. – New York: NY Academic press, 1997. – P. 87-92.

19. **Gridin, V.N.** The semiconductor lamp source is the future of lighting / V.N. Gridin, I.V. Ryzhikov, V.N. Shcherbakov // Automation in Industry. – 2007. – N 7. – P. 63-65. – (In Russian).
20. **Windisch, R.** Impact of texture-enhanced transmission on high-efficiency surface-textured light-emitting diodes / R. Windisch, C. Rومان, M. Kuijk, G. Borghs and P. Heremans // Appl. Phys. Lett. – 2001. – Vol. 79, Issue 15. – P. 2315-2317.
21. **Schubert, F.E.** Light-Emitting Diodes / F.E. Schubert – Moscow: “Fizmatgiz” Publisher, 2008. – 496 c. – (In Russian).
22. **Abdullaev, O.R.** The current-voltage characteristics of the lumen-pn ^{*}-n-structures on the basis of solid solutions phosphide and indium gallium nitride, aluminum (theory) / O.R. Abdullaev, V.S. Vinogradov, I.V. Ryzhikov // Proceedings of the International Scientific-Technical Conference “Innovative Technologies in Science, Engineering and Education”. – Moscow: “MGUPI” Publisher, 2009. – V. 1. – P. 111-117. – (In Russian).
23. **Abdullaev, O.R.** Lumen-ampere characteristics of p-n^{*}-p-structures based on solid solutions phosphide and indium gallium nitride, aluminum (theory) / O.R. Abdullaev, V.S. Kondratenko, I.V. Ryzhikov, V.S. Vinogradov // «Journal of MGUPI». – 2009. – N 21. – P. 95-103. – (In Russian).
24. **Hall, R.N.** Power rectifiers and transistors / R.N. Hall // Proc. IRE. – 1952. – P. 1512-1518.
25. **Kleinman, D.A.** Bell system / D.A. Kleinman // Techn. J. – 1956. – V. 35. – P. 685-69.
26. **Rashba, E.I.** Direct current-voltage characteristic of the junction rectifier currents with significant / E.I. Rashba, K.B. Tolpygo // Journal of Applied Physics. – 1956. – V. 26, Issue 7. – P. 1419-1426. – (In Russian).
27. **Kondratenko, V.S.** A comparative study of the impact of penetrating radiation on a new generation of LEDs based on AlGaInP and AlGaInN heterostructures / V.S. Kondratenko, O.R. Abdullaev, I.V. Ryzhikov, V.S. Vinogradov, A.S. Firsov // Instruments. – 2009. – N 3. – P. 24-36. – (In Russian).
28. **Gridin, V.N.** Research on effects of fast neutrons and electrons on the white and blue light-emitting diodes with / V.N. Gridin, I.V. Ryzhikov, V.S. Vinogradov // Mikroelektronika Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Elektronika. – 2009. – N 1(75). – P. 27-32. – (In Russian).
29. **Gridin, V.N.** A Study of the Effect of Fast Neutrons and Electrons on White and Blue LEDs / V.N. Gridin, I.V. Ryzhikov and V.S. Vinogradov // Semiconductors. – 2009. – Vol. 43, Issue 13. – P. 1690-1694.
30. **Vinogradov, V.S.** Research on effects of fast neutrons and electrons on the white light-emitting diodes / V.S. Vinogradov, I.V. Ryzhikov // Proceedings of the International Scientific-Technical Conference “Innovative Technologies in Science, Engineering and Education”, V. 2. – Moscow: “MGUPI” Publisher, 2009. – P. 20-29. – (In Russian).

DEVELOPMENT A NEW GENERATION OF SEMICONDUCTOR ILLUMINATION SOURCE

V.N. Gridin¹, S.N. Zaytsev², I.V. Ryzhikov¹, N.V. Sherbakov³

¹ *The Center of Information Technologies in the Design of RAS,*

² *The Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science,*

³ *ООО «ROSNANOSVET»*

Abstract

Developed a patent-pure technology, and the design of a new generation of efficient, powerful, cost-effective, reliable, radiation-resistant, ecologically clean semiconductor sources of light for illumination of streets, squares, facades of buildings and other objects. Basic elements of a design are not discrete light-emitting diodes, and the light-emitting diode modules containing more of five heterostructures. Are chosen optimum on structure and the sizes of heterostructure on the copper basis and aluminotriev the offered luminofores activated by cerium and praezodim which have allowed to receive sources with colour temperature 2850-7000 K. Mathematical model allows to deduce a lumen-ampere characteristics. Priority researches of influence of a penetrating radiation on light-emitting diode modules with blue and white colour of a luminescence have allowed to establish exclusively high radiating firmness as heterostructures, and phosphors and use the modules civil and special equipment.

Key words: a light-emitting diode, the light-emitting diode module, heterostructure, aluminotrien a phosphor, colour temperature, a semi-conductor source of illumination.

Сведения об авторах



Гридин Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, директор Центра информационных технологий в проектировании РАН. Область научных интересов: оптоэлектронные диагностические системы, математическое моделирование радиоэлектронных систем, система автоматизированного проектирования сложных радиоэлектронных систем.

E-mail: info@ditc.ras.ru.

Vladimir Nikolaevich Gridin, doctor of technical sciences, professor. He works as the director Design information technologies Center Russian Academy of Sciences. Research interest: opto-electronic diagnostic systems, mathematical modeling of radio-electronic systems, computer-aided design of complex electronic systems.

Зайцев Сергей Николаевич, аспирант Московского университета приборостроения и информатики, окончил МГУПИ в 2010 году по специальности «Технология приборостроения». Область научных интересов: разработка технологии и конструкции твёрдых источников излучения нового поколения.

E-mail: zaitsev88@yandex.ru.

Sergey Nikolaevich Zaytsev, a postgraduate of the Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science, graduated in 2010 MGUPI on a specialty "Technology of Instruments". Research interests: development of technology and constructions of solid-state light sources of the new generation.



Рыжиков Игорь Вениаминович, доктор технических наук, профессор Московского государственного университета приборостроения и информатики, главный научный сотрудник Центра информационных технологий в проектировании РАН. Область научных интересов: разработка технологии и конструкции твёрдых источников излучения нового поколения.

E-mail: OND491@yandex.ru.

Igor Veniaminovich Ryzhikov, doctor of technical sciences, professor of the Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science. He works as the chief researcher of the Center of Information Technologies in the Design of RAS. Area of scientific interests: development of the technology and design of solid-state radiation sources of the new generation.

Щербаков Николай Валентинович, 1950 года рождения, в 1973 году окончил Московский институт радиотехники электроники и автоматики по специальности «Электронные приборы», работает генеральным конструктором в ООО «РОСНАНОСВЕТ». Область научных интересов: разработка технологии и конструкции твёрдых источников излучения нового поколения.

E-mail: soznik@list.ru.

Nilolay Valentinovich Sherbakov, (b. 1950) and in 1973 graduated from the Moscow Institute of Radio Electronics and Automatics, on a specialty "Electronic Devices". He works as the chief designer in "ROSNANOSVET". Research interests: development of technology and constructions of solid-state light sources of the new generation.



Поступила в редакцию 17 января 2012 г.