

ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ, НАДЕЖНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДОВ КАК ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ

Ф.И. Маняхин

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».
Ленинский проспект, дом 4, 117049, Москва
Тел. +7(495)6384668, e-mail: fman@misis.ru

На основании анализа современных исследований деградации и нестабильности параметров светодиодных (СД) структур, используемых в качестве источников света, сделаны выводы: технология производства СД с высокой эффективностью успешно развивается, однако остается ряд проблем, требующих решения; остаются неясности в трактовке механизмов токопротекания и формирования вольт-амперной зависимости светодиодов с квантовыми ямами на основе широкозонных полупроводниковых структур AlGaIn/IGaN/GaN и AlInGaP; неоднозначно интерпретируются причины снижения эффективности СД при средних и высоких плотностях токов; далеко не полно исследовано влияния режимов работы СД на изменение их характеристик при длительной работе.

Целью настоящей работы было развитие модельных представлений о механизмах токопротекания, деградации параметров СД и их нестабильности в различных электрических режимах.

Объектами исследования были СД на основе гетероструктур AlGaIn/InGaIn/GaN и AlInGaP с квантовыми ямами синего, зеленого и красного свечения с типичными вольт-амперными характеристиками (ВАХ) для диодов на основе широкозонных полупроводников.

По характеру распределения зарядовых центров p-n переход исследованных СД можно считать резким, имеющим компенсированный слой между p- и n-слоями. Схематично их p⁺-i-n⁺ структуру можно представить в виде, изображенном на рис.1. Здесь условно принято, что p₀ >> p₀.

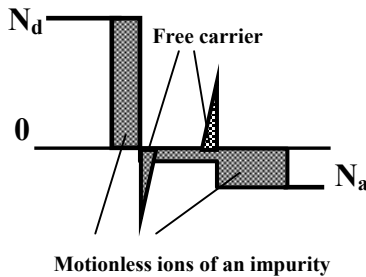


Fig.1

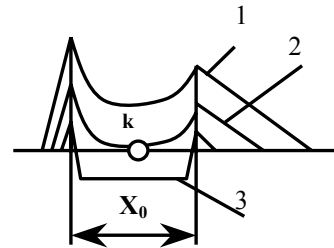


Fig.2. Explanatory in the text

Известно [1], что при сильном различии концентраций p- и n- контактирующих слоев важную роль в формировании распределения электрического поля (ЭП) и потенциала в слаболегированном слое играют свободные носители заряда (н.з).

При приложении прямого внешнего напряжения его ЭП компенсирует поле области пространственного заряда, дрейфовая составляющая $J_{др}$ возвращающихся в легированные области н.з. уменьшается, а диффузионная составляющая $J_{диф}$ увеличивается и через диодную структуру течет ток. При $J_{диф} > J_{др}$ распределение напряженности ЭП $E(x)$ соответствует выражению

$$E(x) = \frac{-J - q \left[\left(D_n \frac{d\Delta n(x)}{dx} - D_p \frac{d\Delta p(x)}{dx} \right) \right]}{q\mu_n \left(\Delta n(x) + \frac{1}{b} \Delta p(x) + p_0 \right)}, \quad \text{где } b = \mu_n / \mu_p. \quad (1)$$

На рис.2 показано гипотетическое распределение напряженности ЭП для различных режимов прямого смещения. Из (1) следует, что распределение $E(x)$ без смещения имеет минимум, рис.2-1. При увеличении прямого тока J вследствие роста инжекционной составляющей через барьеры этот минимум углубляется и при некотором значении прямого тока в сечении k $E(x) = 0$, рис.2-2. При этом в сечении k ток имеет чисто диффузионную природу

$$J = -q \left(D_n \frac{d\Delta n}{dx} - D_p \frac{d\Delta p}{dx} \right) \quad (2)$$

Дальнейшее повышение плотности тока приводит к тому, что в компенсированном слое возникает область x , в которой $E(x)$ меняет знак и равномерно распределяется по ней, рис.2-3. Диффузионным током в этой области можно пренебречь (большая длина затягивания и незначительная доля рекомбинационного тока). Начало отклонения ВАХ от экспоненциальной зависимости соответствует этому режиму. Выражение для дрейфового тока в слое x имеет вид:

$$J = \sigma E = q \left[\left(n_0 + \frac{p_0}{b} \right) + \left[\Delta n(J) + \frac{\Delta p(J)}{b} \right] \right] \cdot V_{dp}(E), \quad (3)$$

где σ - удельная проводимость компенсированного слоя; $V_{dp}(E)$ - дрейфовая скорость электронов, зависящая от напряженности электрического поля; $\Delta n(J)$, $\Delta p(J)$ инжекционная составляющая избыточных носителей заряда на участке x .

Для исследованных СД были получены модельные ВАХ

$$U = U_b + U_i = mkT \cdot \ln \left(\frac{J}{J_0} \right) + \frac{x \cdot J}{q \cdot \left[\left(n_0 + \frac{p_0}{b} \right) + A \cdot J^y \right] \cdot \mu_n(E)}, \quad (4)$$

где $\mu(E)$ - подвижность носителей заряда, зависящая от напряженности ЭП; U_i - падение напряжения на компенсированном слое; U_b - падение напряжения на барьерах; y - параметр, учитывающий размножение н.з. на участке x вследствие ударной ионизации.

Второе слагаемое «работает» при $J > J_k$ - токе, выше которого наступает отклонение от экспоненциальной зависимости ВАХ.

При моделировании ВАХ параметры компенсированного слоя подбирали таким образом, чтобы максимально приблизить характер экспериментальной зависимости дрейфовой скорости к справочной [2] в соответствии с формулой

$$V_{dp} = \frac{J}{q \left(\frac{p_0}{b} + A \cdot J^y \right)} \quad (5)$$

В таблице представлены параметры модели ВАХ (4) для некоторых исследованных светодиодов на основе нитридных соединений (СД 1,2) и AlInGaP (СД 3, 4).

СД	U_b, B		U_i, B			
	I_0, A	m	x_0, cm	$(n_0 + p_0), cm^{-3}$	A, cm^{-3}	y
1	$8.32 \cdot 10^{-27}$	1.88	$7.1 \cdot 10^{-6}$	$1.85 \cdot 10^{12}$	$8.0 \cdot 10^{14}$	1.217
2	$1.46 \cdot 10^{-21}$	2.28	$7.0 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{12}$	$9.0 \cdot 10^{14}$	1.22
3	$1.09 \cdot 10^{-21}$	1.56	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$5.0 \cdot 10^{13}$	$2.5 \cdot 10^{15}$	1.08
4	$5.75 \cdot 10^{-21}$	1.90	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$4.7 \cdot 10^{13}$	$1.4 \cdot 10^{15}$	1.08

По результатам измерений (точки на графике) было установлено, что уже после 250 часов эксплуатации у светодиодов, работающих при плотности тока $100 A/cm^2$ наблюдаются существенный спад значений светового потока, рис.3, и снижение концентрации зарядовых центров (КЗЦ) в легированном слое вблизи границы компенсированной области.

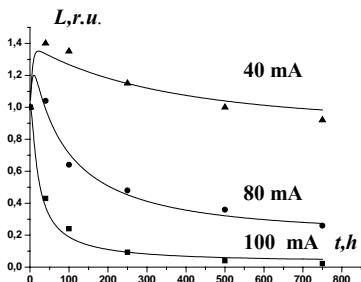


Fig.3

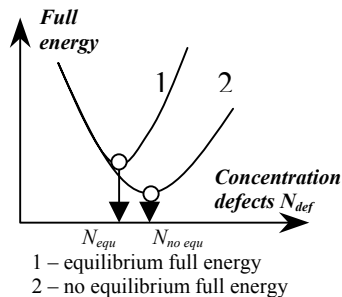


Fig.4

При этом у СД, работавших при плотности тока 40 А/см^2 отмечается рост потока излучения до 30% от первоначального, а в распределении КЗЦ наблюдали рост концентрации зарядовых центров у границы компенсированного слоя вследствие отжига технологических дефектов.

Для объяснения этих результатов была привлечена модель подпорогового механизма образования точечных дефектов [3], согласно которому в полупроводнике могут создаваться неравновесные точечные дефекты типа вакансии-междоузельный атом при взаимодействии атомов решетки с горячими электронами (ГЭ). Механизм образования таких дефектов схож с образованием термодинамически равновесных дефектов. Однако вероятность их образования $w = -E_d / [2(kT + \Delta E)]$ [3] определяется не энергией образования вакансий или междоузельных атомов, а энергией разрыва связей узлового атома с соседями E_d и энергией горячих электронов ΔE . При этом узловые атомы и ГЭ представляют собой две взаимодействующие энергетические системы, обладающие каждая своей неравновесной энтропией, рис.4.

Выше было показано, что в компенсированном слое СД в режиме отклонения прямой ветви ВАХ от экспоненциальной зависимости создаются условия образования ГЭ в сильных электрических полях компенсированного слоя больше 100 кВ/см . В СД синего и зеленого свечения этот режим достигается уже при плотностях тока выше 20 А/см^2 , а в СД красного и оранжевого свечения выход к насыщению V_{op} начинается только при плотностях тока около 100 А/см^2 . Это объясняется меньшей степенью компенсации примеси в их переходном слое от п- к р- области.

Будем считать, что в области насыщения V_{op} при высоких значениях напряженности электрического поля (ЭП) дрейфовая скорость постоянна и равна $V_{op \text{ нас}}$. При насыщении V_{op} в материалах $\text{А}_3\text{В}_5$ рассеяние происходит в основном на оптических фононах $\hbar\omega_0$. При этом необходимо учитывать, что в общем дрейфовом потоке участвуют горячие носители заряда (ГНЗ), имеющие энергию в ЭП $\Delta E > \hbar\omega_0$ и они теряют эту энергию при многофононном рассеянии. Полный поток носителей заряда складывается из парциальных потоков с энергией $n\hbar\omega_0$, где $n = 1, 2, 3, \dots$

Поток частиц U_{opn} с энергией $n\hbar\omega_0$ и концентрацией N_n будет

$$U_{opn} = \left(\frac{n\hbar\omega_0}{m^*} \right)^{0.5} N_n \quad (6)$$

где m^* - эффективная масса подвижных носителей заряда.

Если принять, что в стационарном неравновесном режиме вероятности образования и поглощения ГНЗ одного неравновесного фонона с энергией $\hbar\omega_0$ одинаковы $p = 0.5$, то величину средней дрейфовой скорости при многофононной передаче энергии ГНЗ можно выразить формулой

$$V_{op \text{ нас}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left(\frac{n\hbar\omega_0}{m^*} \right)^{0.5} \cdot N_n \right] = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{n\hbar\omega_0}{m^*} \right)^{0.5} \cdot p^n, \quad (7)$$

где N - общая концентрация частиц потока; p^n - вероятность многофононной передачи энергии горячими электронами.

Средняя энергия потока частиц при многофононном рассеянии определяется по формуле

$$\Delta E = \left[\sum_{n=1}^{\infty} (n\hbar\omega_0)^{0.5} \cdot p^n \right]^2 \quad (8)$$

К примеру, для GaN $\hbar\omega_0 = 0.091 \text{ эВ}$, и в этом случае $\Delta E = 0.165 \text{ эВ}$. Т.е. в режиме насыщения дрейфовой скорости наиболее вероятным является двухфононное рассеяние. При этом для согласия со справочной величиной $V_{op \text{ нас}}$ [2] эффективная масса электрона должна быть $m^* = 0.35m_0$. По справочным данным $m^* = 0.2m_0$ [4] и увеличение средней экспериментальной массы может быть объяснено эффектом перехода части ГЭ в боковую долину с большей эффективной массой [2].

В режиме насыщения дрейфовой скорости длина свободного пробега н.з. может быть выражена через падение напряжения на дрейфовом участке:

$$l_{cp} = \frac{m^* V_{дрcp}^2}{qE} = \frac{m^* V_{дрcp}^2 x}{qU_i}, \quad (9)$$

Используя выражение для концентрации избыточных пар вакансия-междоузельный атом, образованных ГЭ в режиме сильных ЭП из [3] и учитывая, что $V_{дрсп}^2 = \frac{\Delta E}{m}$, а $\sigma = I_{cp}^2$, получим выражение зависимости концентрации точечных дефектов ΔN_{def} от электрических режимов

$$\Delta N_{def} = \frac{3}{2} \cdot \frac{J \cdot [U - m \cdot kT \cdot \ln(\frac{J}{J_0})]}{x_0 \cdot \Delta E} \cdot \tau_A \cdot e^{-\frac{E_d}{2(kT + \Delta E)}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau_A}} \right]. \quad (10)$$

Учитывая нагрев именно р-п перехода до 370К (априорно) в режиме пропускания прямого тока было получено оценочное значение $E_d = 14.5$ эВ. Это усредненная энергия образования пары вакансия-междоузельный атом для N и Ga.

При плотности тока 100 A/cm^2 у светодиодов красного и оранжевого свечения изменение квантового выхода было 15-20%. С учетом зависимости дрейфовой скорости от тока можно предположить, что это связано с меньшей величиной дрейфового поля, чем в СД синего свечения.

Расчетные зависимости относительной величины квантового выхода от времени, рис.3 (сплошные линии) были построены в предположении, что в компенсированной области изначально существуют неравновесные дефекты с мелкими энергетическими уровнями, энергия отжига которых значительно меньше энергии образования пар вакансия-междоузельный атом.

Основные выводы по работе:

Развита модель механизма образования точечных дефектов в р-п переходе светодиодных структур на основе AlGaIn/InGaIn/GaN и AlInGaP с квантовыми ямами. Показано, что причиной изменения параметров и снижения квантовой эффективности светодиодов является накопление точечных дефектов в активной области р-п перехода в результате взаимодействия кристаллической решетки с горячими электронами. Горячие электроны образуются в компенсированном слое р-п перехода, когда в нем возникает сильное дрейфовое электрическое поле при прямом смещении. В этом режиме наблюдается отклонение вольт-амперной характеристики от экспоненты и снижение внешнего квантового выхода. Причиной являются электрические потери на участке дрейфового поля в компенсированном слое. Получено выражение, отражающее зависимость во времени концентрации избыточных точечных дефектов, образующихся при эксплуатации светодиода, от электрических и тепловых режимов его работы.

- [1] Г.Е. Пикус. / Основы теории полупроводниковых приборов. Изд. «Наука». Гл. ред. физ.-мат. лит. М., 1965.
 [2] Bhardkar, U.V, Shur M.S. // J. Appl. Phys. V. 82 . № 4. 1997. P. 1649-1655
 [3] Манякин Ф.И. // Известия ВУзов. Сер. Материалы электронной техники. 1998. №1. С.37-42.
 [4] Bloom, S., Harbecke G., Meier E., Ortenburger I.B. // Phys. Stat. Solidi. V66. 1974. P. 161-168.

PROBLEMS OF DEGRADATION, REABILITY AND STABILITY OF PARAMETERS OF LED'S AS LIGHT SOURCES

F.I. Manyakhin

National Research Technology University "MISIS". Leninsky prosp., 4, 117049, Moscow
 Phone. +7(495)6384668, e-mail: fman@isis.ru

The model of the mechanism of formation of dot defects in p-n transition of LED's structures on the basis of AlGaIn/InGaIn/GaN and AlInGaP with quantum holes is developed. It is shown, that the reason of change of parameters and decrease in quantum efficiency of light-emitting diodes is accumulation of dot defects in active area p-n transition as a result of interaction of a crystal lattice with hot electrons. Hot electrons are formed in the compensated layer p-n transition when in it there is a strong drift electric field at direct displacement. In this mode the deviation of Volt-Ampere a characteristic from exhibitors and decrease in an external quantum output is observed. The reason are electric losses on a site of a drift field in the compensated layer. The expression reflecting dependence in time of concentration of superfluous dot defects formed at operation of a LED, from electric and thermal modes of its work is received.

ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ ЗРЕНИЕМ И СОЗДАНИЕ СТАНДАРТОВ И НОРМ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Е.В. Долин¹, Л.М. Текшева², Ю.Г. Ткачук³

¹ Научно технологический центр уникального приборостроения РАН, ул. Бултерова 15, Москва, 117342. тел.+7(985)290-60-99 E-mail: dolin@ledfm.ru

² НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков М. Казенный пер., 5, строение 5., г. Москва, 105064

³ Государственная корпорация «РОСНАНО» ул. Наметкина, 12А, г. Москва, 117420

Внедрение светодиодной светотехники в жилых и общественных зданиях, промышленных зданиях и сооружениях, на железнодорожном транспорте (подвижной состав, здания, территории), метрополитене, в дорожном строительстве и других сферах деятельности затруднено техническими ограничениями, содержащимися в действующих нормативных документах федеральных органов исполнительной власти.

В частности, для обеспечения внедрения светодиодного освещения и приведения требований нормативных документов к современным реалиям в целом нуждаются в изменении СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СП 2.2.1.1312-03, СП 2.5.1337-03, СНиП 23-05-95 и ряд других в части дополнения типов источников света светодиодами, а также в части введения нормирования через объективные физические величины.

Отставание российской нормативной базы от мирового уровня ведет к широкомасштабным поставкам в Россию технологически отсталой, а зачастую и просто вредной и бракованной продукции. Существующая система норм и правил, а также стандартов светотехнической отрасли в целом не создает защитного барьера на пути недобросовестных импортеров.

Организация и проведение исследований психофизиологического воздействия светодиодных источников света на организм человека и гигиеническая оценка светодиодов предполагают сравнительную оценку систем общего освещения с использованием светодиодов и люминесцентных источников света. Параметры световых установок должны соответствовать действующим нормативным требованиям по уровням освещенности, пульсации, дискомфорту, при этом должна быть соблюдена в экспериментальных (светодиоды) и в контрольных (люминесцентные лампы) условиях идентичность спектрального состава излучения.

Концепция проведенных научных исследований заключается в изучении сравнительной динамики психофизиологического состояния добровольцев-волонтеров при значительной зрительной и умственной нагрузке в экспериментальных и контрольных условиях. Изучению подлежали адаптационные показатели организма, функциональные резервы сердечно-сосудистой системы, вегетативная реактивность по данным кардиоинтервалографии.

С учетом специфики работы в помещениях и на территориях различного функционального назначения проведено многократное обследование нервно-психического функционального состояния добровольцев-волонтеров с оценкой комплекса психофизиологических характеристик, отражающих эффективность зрительно-моторной деятельности, работоспособности, утомления нервной системы и зрительного анализатора.

На основе обследований изучены:

- 1) показатели функциональной лабильности зрительного анализатора — критическая частота слияния мельканий (КЧСМ), латентный компонент простой зрительно-моторной реакции;
- 2) комплексная оценка концентрации, переключения и распределения внимания по показателям корректурной работы, экстренного выбора и выбора по памяти;
- 3) показатели проявления силы процессов возбуждения и торможения, имеющих тенденцию к ослаблению при развитии утомления нервной системы (чувство времени и реакция на движущийся объект).

Указанные методы реализованы на основе разработанной в НИИ ГиОЗДиП «Аппаратно-компьютерной технологии психофизиологического обследования», реализованной с помощью прибора КПФК-99 «Психомат» и «Функционально-компьютерной технологии», реализованной на персональных компьютерах с применением специального программного обеспечения.

В исследованиях принимали участие специально подготовленные и отобранные специалистами по клиническим показателям добровольцы-волонтеры: мужчины в возрасте от 20 до 30 лет неврологически здоровые с нормальным или скорректированным зрением.

Общий объем исследований — более 200 экспериментов (100 в каждом из изучаемых условий световой среды).

В связи с отсутствием достоверных отличий в динамике функционального состояния человека, работающего при светодиодном освещении и при освещении люминесцентными лампами, в

Санитарные Правила, регламентирующие условия световой среды, подготовлены дополнения, определяющие допустимость светодиодов как источников света в системах искусственного общего и комбинированного, а также совмещенного освещения.

PROBLEMS OF PERCEPTION LED LIGHTING HUMAN VISION AND DEVELOP OF STANDARDS AND NORMS FOR LED LIGHTING.

E.V. Dolin^{1*}, L.M. Teksheva², Y.G. Tkachuk³

¹ Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation RAN, str. Butlerov 15, Moscow, 117342.
phone.+7(985)290-60-99 E-mail: dolin@ledfm.ru

² Research Institute of Hygiene and health of children and adolescents RAMN, lane M. Kazenny 5, building 5, Moscow, 105064

³ Government corporation «Rosnano», str. Nametkina, 12A, Moscow, 117420.

The introduction of LED lighting in residential and public buildings, industrial buildings and structures, railway (rolling stock, buildings, territories), the subway, highway construction and other spheres of activity meets the technical limitations contained in existing regulations.

The concept of the research is to study the comparative dynamics of psycho-physiological state volunteers with significant visual and mental strain in the experimental (LED) and control (fluorescent lamps) conditions. The study were subject to adjustment indicators of the organism, the functional reserves of the cardiovascular system, autonomic reactivity according cardiointervalography.

In the absence of reliable differences in the dynamics of the functional state of man working with an LED light and fluorescent lamps in sanitary rules governing the conditions of light environment, prepared by complement determining the admissibility of LEDs as light sources in general and artificial systems combined, as well as the combined lighting.

**ЛАБОРАТОРИЯ «Л.И.С.Т.» – ПЕРВЫЙ В РОССИИ НЕЗАВИСИМЫЙ АТТЕСТОВАННЫЙ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ И
МЕТРОЛОГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

С.Г. Никифоров¹*, А.Л. Архипов¹

¹ООО «Л.И.С.Т. – Лаборатория Исследований Световых Технологий». 115201, Москва,

1-ый Котляковский пр., д.4.

тел. +7(495)9566870, e-mail: sergnik71@mail.ru; snikiforov@list-lab.ru.

Необходимость достоверной количественной оценки излучения гетероструктур на основе нитрида галлия определила создание независимой лаборатории «ЛИСТ», ориентированной на прецизионную метрологию их характеристик и изучение процессов деградации в излучающих кристаллах и светодиодах на их основе. Компетентность и независимость лаборатории признана корпорацией Роснано, аттестовавшей её в системе «Наносертифика», Федеральным Агентством по Техническому Регулированию, аттестовавшим её в системе ГОСТ Р, а также Балтийским отделением Морского регистра. Основное измерительное оборудование лаборатории разработано и произведено в РФ непосредственно для «Л.И.С.Т.» (установки «Флак-7» и Флак-20»), а также занесено в Государственный реестр средств измерений.

Описанные условия позволили разработать ряд собственных методов исследования излучательных свойств и процессов в гетероструктурах, способов оценки потенциальной степени деградации светодиодов и устройств на их основе. Наиболее важным из них является метод изучения перераспределения светового потока (оптической мощности) по пространственной диаграмме излучения силы света (силы излучения) в процессе первых 1000-2000 часов наработки. С его помощью можно не только сделать выводы об изменениях в работе самой структуры, причины которых могут быть объяснены на уровне физики её работы, но и предположить, что подобное перераспределение светового потока, пропорциональное перераспределению центров излучательной рекомбинации со временем наработки, существует и внутри излучающего кристалла, в его активной области. Предложенный метод выявил большие перспективы его использования при изучении потенциальной степени деградации параметров светодиодов на производстве, определению дефектов эпитаксии или монтажа чипов в корпусе.

На основе исследований полных комплексов характеристик, поэтапно измеряемых в течение длительного времени наработки светодиодов и кристаллов на основе InGaN (до 40 000 часов), разработаны методики определения потенциальной степени изменения квантовой эффективности работы структур, светового потока (оптической мощности), спектральных параметров излучения, электрических характеристик не прибегая к тестированию образцов в течение периода стабилизации параметров (1000-2000 часов). Результаты длительного наблюдения за изменением параметров гетероструктур в совокупности с изучением перераспределения светового потока (оптической мощности), взаимосвязь исследованных изменений, легли в основу создания производственной методики сортировки излучающих кристаллов и светодиодов по принципу различной степени потенциального изменения светового потока при последующей эксплуатации. Изначально, все характеристики, свойственные исправным кристаллам или светодиодам будут присутствовать в момент сортировки, и такие приборы будут признаны годными на производстве. Однако степень изменения их параметров при наработке может существенно отличаться. Выявление этого факта стало возможным только при исследовании большого числа светодиодов по предложенной методике, что позволило обнаружить очень важный недостаток в принятой мировой практикой системе сортировки готовых светодиодов, и тем самым объяснить причину появления потенциально дефектных приборов в общей массе признанных годными. В результате применения методики обосновано, что критерии сортировки должны быть рассчитаны при больших плотностях тока через кристалл, а также, что предложенная методика такой сортировки позволяет сделать достоверный прогноз качества произведённых светодиодов (выявить более 95% потенциально негодных приборов) и мобильно скорректировать необходимые технологические операции для устранения возможного брака на выходе. Показано также, что предложенные методы сортировки на производстве не несут ни дополнительных затрат времени, ни оборудования, ни энергии, ни трудозатрат персонала.

Помимо широких возможностей по прецизионным измерениям диаграмм пространственного распределения силы света (силы излучения), которые реализуются с помощью двухкоординатных гониометров с шагом угла поворота в 0,02 град и фотометрических (радиометрических) головок, следует отметить одновременные измерения относительного спектрального распределения спектральной плотности энергетической яркости (ОСПЭЯ) с разрешением в 0,5 нм в диапазоне

180-1100 нм (1800 точек). Расстояние фотометрирования источников излучения – до 20м, диапазон измерения силы света – $0,01 - 50 \times 10^6$ кд. Измерения электрических характеристик излучающих кристаллов и светодиодов представлены импульсным измерителем ВАХ с различными временными и амплитудными параметрами импульсов. В совокупности с гониофотометром возможно получение токовых зависимостей квантовой эффективности структур и люмен - амперных характеристик светодиодов. Блок-схема одного из измерительных стендов показана на рис. 1.

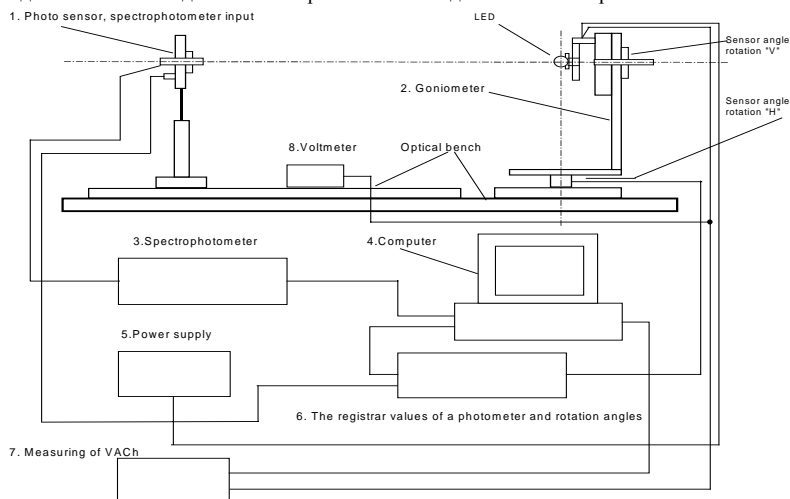


Рис 1. Блок-схема одного из фотометрических стендов лаборатории «ЛИСТ».

Особенностью построения представленной на рис. 1 схемы измерений является близкое взаимное расположение оптического входа спектрофотометра (площадка оптоволоконного удлинителя диаметром 4мм), и входного окна фотометра (радиометра). Таким образом, одновременно с фиксацией значения силы света (силы излучения) возможно измерение ОСПЭЯ и получение подробной характеристики распределения характеристик спектра по пространственной диаграмме излучения. Последняя функция крайне важна для оценки параметров люминофорных светодиодов на основе кристаллов InGaN.

Отдельно следует остановиться на радиометрических измерениях энергетических характеристик гетероструктур. Применение калиброванных радиометрических датчиков собственных конструкций на основе высокостабильных фотодиодов Namamatsu сводит к минимуму погрешности измерения силы света и расчётов светового потока из-за отсутствия скорректированных под $V(\lambda)$ фильтров, применяемых в фотометрах. Данное обстоятельство наиболее актуально при измерении параметров излучения структур в фиолетовой части спектра, где погрешность фотометров может доходить до 25% в отличие от 2-3% погрешности радиометра. Это относится и к корректности измерений характеристик люминофорных светодиодов из-за большой доли совокупной энергии излучения, лежащей в этом же диапазоне.

LABORATORY «LIST» IS THE INDEPENDENT CERTIFIED TEST CENTER, FIRST IN RUSSIA IN THE FIELD OF STUDYING DEGRADATION PROCEESS AND METROLOGY OF SEMICONDUCTORS RADIATION

S.G.Nikiforov¹*, A.L. Arkhipov¹

¹“LIST- Laboratory of Investigations of Light Technologies” Ltd. 115201, Moscow, 1-st Kotlyakovski p.,4. phone. +7(495)9566870, e-mail: sergnik71@mail.ru; snikiforov@list-lab.ru;

The independent certified photometrical laboratory «LIST» specialises in precision measurements characteristics of radiation InGaN heterostructures, researches of luminous flux degradation during an operating time of dies or LEDs. On the basis of researches the method of LEDs sorting on manufacture on potential level of parameters degradation is developed. In responsible cases, where the big accuracy is necessary, radiometric and spectrometer measurements are widely applied.

МОЩНЫЙ ЦВЕТОДИНАМИЧЕСКИЙ RGB ИСТОЧНИК СВЕТА ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

*А.В.Аладов¹, С.Б. Бирючинский², С.В.Демин¹, А.Л.Закгейм¹, Г.Ю.Клишин³, М.Н.Мизеров¹,
К.В.Стелинговский³, А.Е.Черняков¹, А.Ф.Чумаченко¹*

¹ УРАН Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН, Россия, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая ул. 26, *e-mail: aaladov@mail.ioffe.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Россия, Санкт-Петербург, 197101, Саблинская ул. 14.

³ ООО «Центр авиакосмической медицины», Россия, Москва, 123367, Врачебный пр.5.

Светодиодные (СД) мультикристалльные источники света, построенные на принципе RGB-смешения цветов, обладают по сравнению с лампами возможностью простого и практически безынерционного управления количественными и качественными характеристиками излучения: яркостью, координатами цветности и спектральным составом. В зарубежной литературе это качество получило название интеллектуальный свет (smart light) [1,2]. В настоящее время широко обсуждается перспективность подобных приборов, как новых, эргономических (оптимизированных с учетом рода деятельности, времени суток, индивидуальных предпочтений и т.д.) источников освещения, оказывающих благоприятное воздействие на здоровье человека.

В работе описывается прототип интеллектуального источника света, созданного для аппаратно-программного медико-биологического комплекса по определению и коррекции психофизиологического и функционального состояния человека-оператора, труд которого протекает в экстремальных условиях (диспетчеры, летчики, экипажи автономных объектов и др.). Функционально комплекс обеспечивает синхронно с варьированием светового воздействия регистрацию изменения состояния человека по широкому кругу параметров: электроэнцефалограмма, электрокардиограмма, частота дыхания, психологические тесты. Конечной целью проводимых исследований является разработка алгоритмов освещения, которые способствовали бы активизации (концентрации внимания, быстроте реакции) или, напротив, релаксации (отдыху и восстановлению) человека-оператора в определенные промежутки времени.

Кратко, основные характеристики разработанного управляемого RGB источника света сводятся к следующему.

- Выходной световой поток до 10000 лм, что достаточно не только для локального освещения, но и помещений в целом;
- Область синтезируемых цветов составляет более 75% локуса реальных цветов по диаграмме цветности XYZ МКО 1931;
- Диапазон цветовых температур для белого света составляет 2500-12000К при индексе цветопередачи 70-90;
- Широкая диаграмма направленности излучения при независимости цвета от угла.

В качестве элементной базы для создания управляемого источника света на принципе смешения цветов были проанализированы 3 версии полихромных мультикристалльных излучателей: трехцветная RGB (красный/зеленый/синий), четырехцветная RGBA (красный/зеленый/синий/желтый), и RGBW (красный/зеленый/синий/ + нейтральный белый). На рис. 1 для 3-х указанных версий представлены спектральный состав излучения и значения общего R_a и специальных R_i индексов цветопередачи при синтезе белого света с $T_c=3200K$, а также положение на цветовой диаграмме МКО 1931 координат цветности исходных светодиодов. Более подробно, в табл. 1 представлены значения R_a и светоотдачи WPE для набора T_c в диапазоне 2800-10000K. Как можно видеть, четырехцветная система обладает преимуществом более высоких значений индексов цветопередачи по отношению к RGB и RGBW версиям. Что касается светоотдачи: ~30 lm/W для RGBA и ~40-50lm/W для RGBW версий, то, поскольку моделирование синтеза цветов проводилось на серийных приборах фирм Aculed, Ledengine, Phlatlight и при максимальной нагрузке, указанные величины не отражают достижимый сегодня предельный уровень WPE. В работе подробно исследуется поведение энергетических, спектральных и цветовых характеристик излучающих кристаллов различных цветов в зависимости от рабочего тока и температуры, а также влияние этих факторов на синтезируемые цвета. Измерения проводились с помощью комплекса «OL770-LED High-speed Test and Measurement System».

Конструктивно управляемый RGB источник света объединяет в одном корпусе собственно излучатель – матрицу из 36 мощных (10W) светодиодов, соединенных в последовательно/параллельные группы, и схему питания, включающую платы процессора,

драйверов, блока питания и радиоканала обмена данными с управляющим компьютером. Соответствующий интерфейс позволяет задавать цветовые и яркостные параметры и изменять их во времени по заданному алгоритму, а также отображать в специальном окне дисплея. Главными факторами, затрудняющим стабилизацию координат цветности синтезируемого излучения при изменении его яркости, являются нелинейность зависимости свет-ток и смещение спектра с током, особо сильные для светодиодов зеленого диапазона. Для поддержания стабильности цветовых параметров в широком диапазоне интенсивностей использовался метод широтно-импульсной модуляции по току и вводились системы обратной связи на базе датчиков цветности.

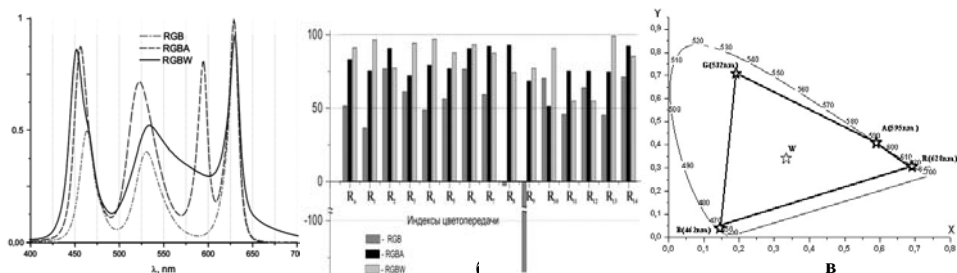


Рис. 1. Спектры (а) и значения индексов цветопередачи R_a , R_i для 3-х версий синтеза белого света с $T_c = 5500K$; в – координаты цветности смешиваемых R,G,B,A,W на диаграмме МКО 1931

Табл.1

Тип	Цветовая температура T_c							
	2870 K		3200 K		5500 K		10000 K	
	R_a	WPE, lm/W	R_a	WPE, lm/W	R_a	WPE, lm/W	R_a	WPE, lm/W
RGB	43.8	24.4	46.9	24.0	53.9	22.8	55.5	21.0
RGBA	78.8	34.8	79.1	34.2	82.9	32.8	82.3	27.7
RGBW	56.9	42.0	65.1	47.3	90.7	51.3	90.7	49.2

Важным элементом конструкции полупроводникового источника света является выходная оптическая система, в задачи которой входит эффективное смешение излучения различных цветов от дискретных источников с формированием однородной по яркости и цвету светящейся поверхности и широкой индикатрисы излучения с независимой от угла цветностью. Смесители на основе объемных дисперсных сред (матовое стекло) не эффективны, поскольку рассеивают половину излучения назад. Нами использовалась оптическая система на основе двух поверхностных микропризмных рассеивателей с коэффициентом передачи более 70%,

[1] E.F.Schubert, J.K.Kim. Science v.308. (5726), 1274 (2005)

[2] A.Zukauskas, G.Kurilcik, M.Shur, R.Gaska et.al.. Proc of SPIE, v.5187, 185 (2004)

HIGH-POWER RGB LED LIGHT SOURCE WITH COLOR SMART CONTROL FOR MEDICAL-BIOLOGICAL APPARATUS

A.V.Aladov², S.B.Biryuchinskiy², S.V.Demin¹, A.L.Zakgeim¹, G.Y.Klishin³, M.N.Mizerov¹, K.V.Steltingovskiy³, A.E.Chernyakov¹, A.F.Chumachenko¹

¹Submicron Heterostructures for Microelectronics Research & Engineering Center, RAS, Polytechnicheskaya 26, 194021, St.Petersburg, Russia, *e-mail: aaladov@mail.ioffe.ru

²Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Sablinskaya 14, 197101, St.Petersburg, Russia

³Center of aerospace medicine, Vrachebny 5, 123367, Moscow, Russia.

We describe block-scheme, design and functional parameters of dynamically controlled high-power RGB light source invented for use in medical-biological apparatus for checking and correction of human-operator psychophysiological state. Realized light fluxes – up to 100000 lm, color gamut - 75% of CIE 1931 locus, CRI for white light - >70. Dynamic color control is performed by Bluetooth from remote computer.

СОВРЕМЕННЫЕ ФОТОЛЮМИНОФОРЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРИБОРОВ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Н.П.Сошин

ФГУП НИИ “Платан”, Заводской проезд 2, 141190, г. Фрязино Моск.обл. Россия
e-mail: soschin@mail.ru

К началу эры твердотельного освещения был известен только один фотолюминофор(Фл) на основе иттрий-алюминиевого граната (ИАГ_Се), пригодный для работы с синими нитридными гетеропереходами. Уникальность его свойств стала , прежде всего,предметом неоправданных патентных ограничений, а не детального изучения свойств материала, созданного за 30 лет до появления современных белых светодиодов. [1][2]

Целью нашего доклада является анализ параметров Фл ,которые могут быть использованы в СИД с конвертерами, выяснение , уточнение и конкретизация оптимальных параметров Фл , а также создание единого подхода к выбору преобразующих сред для СИД .

Доклад состоит из трех частей : анализа физических условий работы Фл в СИД и проектирования оптимальной модели Фл для белых СИД ;обсуждения ряда результатов проведенного анализа на примерах люминофоров гранатового семейства ;особенностей построения и оптико- спектральных характеристик некоторых новых люминофорных семейств , таких как алюмосиликаты, галоген-фосфаты и силикаты, нитриды и силиконитриды.

Особенности работы Фл в СИД.

Мощностное уравнение баланса для СИД может быть записано [3]

$$W=(JU)=\zeta_{\text{внутр}} \times [\zeta_{\text{вн}} \times Q_L] \quad (1)$$

где JU-ток и опорное напряжение, подаваемые на гетеропереход с внутренней эффективностью $\zeta_{\text{внутр}}$ и внешней эффективностью $\zeta_{\text{вн}} \times Q_L$,где Q_L - люмен- эквивалент производимого излучения. Введя в приведенное уравнение размерные факторы, отметим при этом ,что плотность тока через гетеропереход может составлять $j \geq 100 \text{A/cm}^2$, а электрическая мощность подается на площадь от $0.6 \times 0.6 \text{мм}^2$ до $1 \times 1 \text{мм}^2$.При $W=1 \text{Вт}$ в соответствие с (1) имеем при $\zeta_{\text{внутр}} \rightarrow 0.99$ $W_{\text{изл}}/W_{\text{полн}} = \zeta_{\text{вн}} \times Q_L / Ju \rightarrow 40-45\%$, т.е до 45% от подаваемой мощности переходит в излучение . Для площади $S=10^{-2} \text{см}^2$ удельная мощность излучения составит 45Вт/см^2 . Большинство современных конструкций СИД выполнено таким образом, что излученный поток параллельно переносится внутри люминесцентного конвертера, имеющего обычно толщину в 100-160 микрон. Это позволяет рассчитать объемную плотность возбуждения $\omega_v =$ равную $3500-3700 \text{Вт/см}^3$.

Проведем сопоставление полученных оценочных параметров плотности мощности в СИД с другими известными осветительными устройствами и приборами. В люминесцентной лампе $W=80 \text{Вт}$ при коэффициенте выхода разряда в 80% и поверхности лампы $S=500 \text{см}^2$ плотность мощности возбуждения составляет 0.1Вт/см^2 , а с учетом толщины люминофорного на внутренней поверхности слоя $\delta=100$ микрон удельная объемная плотность составляет $\omega_v = 10 \text{Вт/см}^3$.В дуговых лампах, где мощности возбуждения в 5-10 выше, поверхностная плотность мощности возбуждения может доходить до $\omega_s = 5 \text{В/см}^3$. Следовательно, условия возбуждения в известных источниках света существенно различаются ,и подобное сопоставление приведено нами в таблице 1

Тип источника света	Полная мощность Вт	Удельная плотность мощности Вт/см ²	Объемная плотность мощности Вт/см ³	Температура поверхности Фл
Стандартная люминесцентная лампа	80	0.1-0.2	20	50-60
Энерго-экономная люминесцентная лампа	10	0.35	60-80	50-75
Дуговая лампа высокого давления Hg	250	4-5	200-300	150-180
Светодиод $1 \times 1 \text{мм}^2$	1.0	45-50	2500-3000	125-150

Если для стандартной люминесцентной лампы удельная плотность возбуждающей мощности составляет доли Вт/см², то для среднего современного СИД с полной эффективностью в 40-45% возбуждающая световая мощность возрастает в 100 раз . Это превышение не закончится сегодня и будет продолжаться по мере совершенствования полупроводниковых гетеропереходов . Данные таблицы также показывают, что по удельной плотности возбуждения современные СИД из InGaAlN превышает все известные традиционные люминесцентные лампы. Подобного скачкообразного

превышения мощности возбуждения ,вероятно ,не наблюдалось за всю 120 летнюю историю создания источников света.Существенным различием характеризуется также объемная плотность мощности возбуждения , которая для совершенных белых СИД в 60-80 раз больше в сравнении с люминесцентной лампой.

Из проведенного сравнения вытекают важные выводы ;создан новый принципиально отличный и компактный по мощности источник света и все деятельность ученых и инженеров ,начиная с 1927 года (О.В.Лосов) по нынешняя время проведена на достойном физическом уровне.[2.3]

Технические выводы сформулированы следующим образом :

-- при высокой объемной плотности возбуждения (существенно большей 2 кВт/см³) необходимо использоваться специальные люминесцентные конвертеры ,обеспечивающие преобразование этого возбуждения с минимальными потерями. За 1 секунду люминофорный слой в СИД должен преобразовать 3000 Дж/см³ энергии. К этому параметру энергии мы подходим с точки зрения концентрационно- кинетического критерия в люминофорах и сцинтилляторах (6) , который ранее был нами сформулирован для катодолюминофоров в виде $[Ph_{возб}] \leq [акт.центров] / \zeta =$ где $[Ph]$ концентрация возбуждающих квантов ,см³ , $[Акт. центров]$ -концентрация активных центров в см³люминофора. $\zeta =$ время активного высвечивания активаторного центра, которое необходимо брать по значению длительности послесвечения этого центра на уровне 0, 10% ..

Проведенный расчет для Y₃Al₅O₁₂:Ce (3% атомных) при условии , что $\zeta 0,001 = 1000 \cdot 10^{-9}$ и плотности люминофора $\rho = 4,55 \text{ г/см}^3$ приводит к значению величины ККК равной $\text{ККК} = 8,24 \cdot 10^{25} / \text{сек} \cdot \text{см}^3$. Сопоставив эти величину ККК с объемной плотностью возбуждающих квантов в СИД $[Ph] = 1,75 \cdot 10^{22} / \text{см}^3 \cdot \text{сек}$, можно заключить, что Фл гранатной структуры с активацией $[Ce] = 3\%$ атомных обеспечивает без насыщения очень мощное объемное фотонное возбуждение в светодиодах . Однако , если попытаться использовать в светодиодах традиционные Фл на основе (ZnCd)SCuAu с $\text{ККК} = 1 \cdot 10^{20} / \text{см}^3 \cdot \text{сек}$ или фотоллюминофоры на основе Y₂O₂S:Eu(8%) с $\text{ККК} = 1 \cdot 10^{20} / \text{см}^3 \cdot \text{сек}$, то совершенно очевидна невозможность высвечивания на каждый падающий квант вновь излучаемого вследствие кинетического отставания " медленных" активаторных центров в этих стандартных Фл для ЭЛТ.

Концентрационно- кинетический критерий налагает крайне существенные ограничения на строение и состав активаторных центров в люминофорах. По критерию $\zeta 0,001 < 100$ микросекунд для активаторов в фотоллюминофорах для СИД подходят только Ce⁺³ (d-f переходы) Eu⁺²(d-f переходы)и только частично Pr⁺³ (f-f переходы). Из неактиваторных видов люминесценции ККК удовлетворяет только экситонное свечение , которое связано как с большой концентрацией носителей в прямозонных излучателях , так и с их короткими временами высвечивания .Однако , существенные недостатки этого вида люминесценции , состоящие в крайнем температурной чувствительности и требовании очень высокой чистоты сырьевых материалов требуют проведения еще дальнейших исследований (один из примеров экситонной люминесценции при стимуляции излучения АИГ:Се приведен ниже в нашей работе.)

Первый критерий можно дополнить еще важными требованиями к основанию активированных Фл для эффективных СИД:

--большая изоморфная емкость основы Фл по растворимости в ней соединений из активаторных ионов или групп. . .

--высокая оптическая прозрачность зерен фотоллюминофоров и обязательная равномерность распределения активатора по объему зерна.

--кристаллохимическая изоструктурность соединений основы и активатора

--минимальное значение коэффициента отражения от поверхности зерен Фл;

--максимальная сила осциллятора для активирующих ионов.

Указанные три активирующих иона имеют силы осциллятора ,относящиеся как 1:0.5:0.1.

Среди оптических критериев выбора оптимальных ФЛ можно сформулировать следующие ;

--высокое спектральное согласование спектров излучения гетероперехода и возбуждения Фл.

--использование активаторного центра с трехуровневой схемой и расщепленным верхним уровнем.

--ширина запрещенной зоны материала ФЛ должна более 3.8эВ, что исключает все матрицы на основе А II ВVI, вероятно, кроме ZnO.

--основы Фл должны иметь среднее значение коэффициента преломления $1,50 \leq \text{Пфл} \leq 1,85$.

--все люминофорные матрицы и Фл на их основе должны отличаться низким температурным тушением.

--минимизация коэффициента термического расширения люминофорной матрицы.

--очень важным является высокое удельное объемное сопротивление зерен ФЛ и отсутствие на их поверхности мигрирующих ионов, препятствующих отверждению полимера.

Необходимо представить также несколько технологических параметров-критериев ,В качестве

одного из таких параметров нами предлагается «удельный уплотненный объем (в г/см³)», который указывает на возможность получения из зерен Фл определенной формы плотно-упакованного конвертера. В пределах указанный параметр должен приближаться к значению $2/3 \cdot \rho(\text{г/см}^3)$ монокристалла Фл. Одним из критериев пригодности Фл является полимерофильность, т.е. шивание полимером зерен Фл без образования газовых пузырей и агломератов. Для вязких полимерных суспензий верхний предел диаметра зерна Фл не более $d_{90} \leq 20$ микрон.

Из колориметрических параметров в критерии пригодности целесообразно введение суммы координат цветности $\Sigma(x+y)$, определив ее значение $(\Sigma x+y) \leq 0.94$ для коррелированной цветовой температуры $T > 4500\text{K}$, $\Sigma(x+y) < 0.86$ для диапазона $3500 < T \leq 4000\text{K}$ и $\Sigma(x+y) < 0.84$ для диапазона температур $3500 < T$. Величине коэффициента цветовоспроизведения СИД в настоящее время уделяется чрезмерно большое внимание. По нашему мнению, из светотехнических критериев на первых местах должны располагаться яркость и световая отдача при стандартных значениях координат цветности и цветовой температуры, во второй линии параметров должны следовать величина Ra и частное значение этого параметра. При очень низкой эффективности СИД всегда легко добиться его высокого Ra («ночью все кошки серы»)

В следующем разделе 2 основное внимание будет уделено особенностям различных химических классов неорганических Фл.

Таблица 2

Классы Фл	Окраска поверхности	Квантовый выход	$Q_L=1\text{лм/сВт}$	$T_{0,25}^{\circ\text{C}}$	Свето-отдача в СИД	Время жизни в СИД
Галоген силикатные	Белые	Низкий 0.4-0.5	300-360	$T_{0,25} T_{0,50}$ 60-80	40-50	Низкое
Силикатные	Зеленовато-желтые	Средний 0.5-0.7	460	85-90	60-80	Низкое / Среднее
Оксинитриды	Темно-зеленая и оранжевая	Средний 0.5-0.6	260	180-220	25-45	Высокое
Нитриды силонитриды	Красная	Средний 0.5-0.6	280	200	40-50	Высокое
Алюминаты	Желтая	Высокий, 0.95	380	130	130-135	Высокое

Нами проведено разделение всех известных Фл на 5 больших химических классов, различающихся преимущественным типом химической связи (ионной, ионно-ковалентной). Наиболее изученные представители, например галогениды и силикаты \square группы или сложные алюминаты –гранаты (4,5,7), или оксисилико-нитриды и чисто нитридные системы дали название каждому из этих классов (при активации их Ce^{+3} и Eu^{+2})

Сопоставление параметров всех эти пяти классов дано в табл 2.

В следующем разделе даны предельные ориентиры по эффективности Фл и СИД. Репером здесь является значения $Q_L=683\text{лм/св.Вт}$ для узкополосного излучателя с $\lambda=555\text{нм}$. Известно также, что для излучения Солнца $Q_L=220\text{лм/св.Вт}$

Ответ на вопрос о реальности получения светоотдачи больше чем 220 лм/Вт-положителен и это значение будет достигнуто на бинарной смеси люминофоров, один из которых имеет $\lambda_{\text{мах}}=531-535\text{нм}$, а второй $\lambda_{\text{мах}}=568-573\text{нм}$. Построена эта смесь из двух "равноудаленных" от $\lambda=555\text{нм}$ гауссовых излучателей с полуширинами $\Delta_{0,5} \leq 115\text{нм}$ с целью получения значения люмена -эквивалента каждого излучателя более $Q_L=380\text{лм/Вт}$. В этом случае, используя уравнение для белого цвета $W=0.18 \text{Blue}+0.58-0.65 \text{Green}+0.17-0.28 \text{Red}(2)$ можно получить - энергетический источник белого цвета с $X=0.33$, $Y=0.33$ и световой отдачей более $\zeta=220\text{лм/эл.Вт}$. [7]

Один из вариантов подобного Фл на основе многолигандных гранатов представлен на Рис 1. Все промышленные партии холодно-белых СИД, изготовленные на заводе в Далайе, имеют светоотдачу более 112лм/Вт(350мА), а в настоящее время даже больше 138 лм/Вт.(350 мА) Выше 100 лм/Вт световая отдача нормально-белых и теплых СИД

Проблема повышения эффективности будущих СИД до значения $\zeta > 300\text{лм/эл.Вт}$ также имеет решение. Здесь можно представить целиком люминофорное решение при соблюдении следующих условий:

- минимизация стоксовых потерь энергии в Фл
- предельное сужение полосы каждого излучателя до $\Delta_{0,5} \leq 100-105\text{нм}$
- отсечение «красного» крыла излучателя на уровне $\lambda=680\text{нм}$.

Это уже будет следующее поколение Фл для СИД ,в котором в полной мере будут использованы принципы нанотехнологии и много- лигандности и т.д. Развития этого направления с 2012-2015г

Второе направление существенного повышения эффективности СИД заложено уже в настоящее время, Для этого предлагается комбинация двух механизмов люминесценции -активаторного и экситонного- в Фл конвертере. На рис 2 приведена схема одного из подобных экспериментов . Сравнивалось в одних и тех же условиях свечение чисто люминофорного (ИАГ:Ce) и композиционного конвертера, состоящего из смеси 99-1 люминофора ИАГ-Ce и экситонных квантовых точек типа GdS-CdSe. Эффективность излучения во втором случае возросла в 1,67 раза. Простейшая модель подобного уникального прибавления интенсивности свечения состоит в том, что экситонная люминесценция квантовых точек (QD) очень узкополосная(менее 10-15 нм) ,это свечение глубоко проникает в объем зерна Фл, возбуждая его интенсивную фотолюминесценцию .

Этот эксперимент подтверждался неоднократно и не только нами, но предстоит решение очень сложных физических проблем- стабилизация экситонного свечения при $T > 320K$, стабилизация времени жизни экситонного свечения . Устойчивые комбинированные люминофорно-квантово-точечные конвертера будут созданы в недалеком будущем .

На этой оптимистической ноте, предвещающей эффективностьСИД более 300 лм/эл.Вт., заканчивается предлагаемый Вашему вниманию доклад.

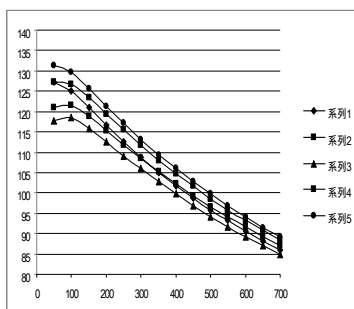


Рис 1 Токовая зависимость световой отдачи на промышленных СИД NN с конвертером из мультилигандного Фл. По вертикали. приборы различаются $T_c=6000K, 5000K, 4500K, 4000K, 3500K$

[1] G.Blasse Nederland patent 6706095.10.12.1967

[2] S.Nakamura The blue laser Diode..SpringerVer Belin 1997

[3] Ф.Е.Шуберг Светодиоды, пер под ред А.Э.Юновича Физматлит 2008,496ст

[4] N.P.Soshchin SID-2007. Proceeding ECNUP , ShangHai, 2007, з 277-288

[5] N.P.Soshchin China Inter Semicon Forum,Shanghai 2009,з 199-209

[6] Н П Сошин Изв АН СССР сер физ Т38 N6.1153-1156(1974)

[7] Сошин Н.П. ГальчинаНА..КоганЛМ, ШироковСС, Юнович А.Э.ФТП Т43.5.стр700-705(2009)

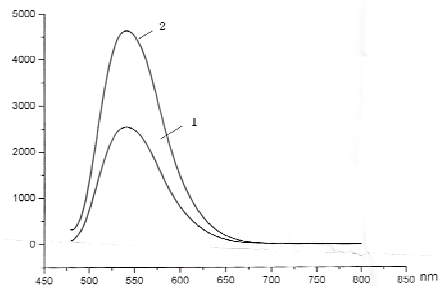


Рис2. Спектры чистого $Y,Gd_3Al_5O_{11.4}F,N$ (кривая1) композита с QD (кривая 2)

MODERN EFFECTIVE PHOSPHORS FOR SOLID STATE LIGHTING

N.P. Soshchin

R&D NII Platan ,Zavodskoy Pr.2,141190 Frjazino, Moscow Reg., Russia E-mail:soshin@mail.ru

This work compares the power density of stimulated luminescent converter in LED with that in different types of luminescent lamps. The result demonstrates that the power density of stimulated luminescent converter in LED is 10 times or more higher than that in luminescent lamps. On the basis of our previous study on concentrate kinematic criterion of luminescent converter linearity , which equals to the quantity of photons [ph] radiated per cm^3 phosphor in 1 second [ph/ $cm^3 \cdot sec$], we differentiate already known classes of phosphors. For LED only the phosphors activated by Ce, Eu+2, Pr+3 and exciton radiation in quantum dots prove to be the optimum. The high efficiency LED with phosphors based on multi-? garnet , proposed by the Author , are taken as example. The light putout of cold white light source reaches 150~160lm/W, while the light putout of warm white light source exceeds 100lm/W and the green LED comes to around 100lm/w, with 50 lm/W -2000K. Problems concerning how to raise the light putout over 200lm/W, or even up to 300lm/W , are discussed. The results of experiments demonstrate essential increase of light putout of phosphors in binary composition of $Ln_3Al_5O_{12}:Ce$ and nanosized dots CdS/CdSe.

ПАТЕНТНАЯ ИСТОРИЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ КОНВЕРТЕРАМИ

Н.П.Сошин

ФГУП НИИ "Платан" Заводской проезд 2, 141190, Г Фрязино Моск. обл. Россия
e-mail: soschin@mail.ru

Точечные светодиоды Олега Лосева (1927) изготавливались на широкозонном SiC и излучали зелено-желтую видимую электролюминесценцию. Светодиоды из GaAs (1961г) излучали в инфракрасном поддиапазоне и для них в 1966-70гг были созданы люминесцентные конвертеры на основе антистоксовских фотолуминофоров (Фл) состава $\text{NaYF}_4:\text{Yb}:\text{Er}$ [1], которые позволяли получить три основных цвета RGB и конкурировали по яркости с первыми красными СИД из GaP Ника Холоньяка (1962г). Люминесцентный конвертер представлял собой полимерный слой, наполненный зернами фотолуминофора, оптически контактирующий с полупроводниковыми гетеропереходом. Эта конструкция достаточно широко использовалась и имела патентную защиту в США, Франции, Нидерландах [2] и применяется до настоящего времени при необходимости получения очень узкополосного излучения от СИД.

Коротковолновые СИД на основе GaN первоначально были ультрафиолетовыми с ограниченным спектральным составом излучения, что побудило советских исследователей В.С.Абрамова и В.П.Сушкова предложить люминесцентный конвертер для них уже с использованием стоксовских люминофоров и практически неограниченным спектральным составом [3].

Завершением нитридной эпопеи при создании современных СИД стали работы сотрудника японской компании "Nichia" Ш. Накамура, создавшего реально работающую InGaAlN структуру, излучающую в УФ, фиолетовом и синем поддиапазонах видимого спектра. Им же были еще в 1994-1995 гг опробованы композиционные СИД при использовании:

- синезлучающего гетероперехода InGaAlN;
- желтоизлучающего Фл на основе алюмоиттриевого граната, активированного церием;
- специального люминесцентного гетерофазного конвертера, смешивающего до 80% желтого света люминесценции Фл с 20% синего света гетероперехода. Все эти результаты были опубликованы Накамурой в его монографии [4].

На удивление научной и инженерной общественности в конце 1999 года после ускоренной экспертизы публикуется патент специалистов «Nichia», в котором предлагается и заявляется [5]:

- композиционный СИД на основе InGaAlN-гетероперехода (детально известный на основе работ Накамуры 1991-1995гг);
- композиционный СИД со стоксовскими Фл (известный с 1977 года);
- желтый фотолуминофор на основе $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$, патенты на который были получены голландским физиком Ж.Бляссе в 1967 году;
- смещение двух дополнительных цветов с целью получение белого цвета, что известно с начала 17 века благодаря работам И.Ньютона. Этот принцип затем неоднократно использовался в черно-белом телевидении, радиолокационных индикаторах, полиграфии и книгопечатании.

Японский патент не содержит ссылок на принципиальные работы по полупроводниковым гетероструктурам, нитридным и композиционным СИД, по редкоземельным гранатным люминофорам, что послужило в дальнейшем поводом для многочисленных неоправданных односторонних патентных притязаний «Nichia» к производственным компаниям.

Это крайне редкая запретительная тенденция, исключительная в научной, инженерной и производственных сферах, неадекватная правовая ситуация должна быть полностью исключена. Современное развитие полупроводниковой светотехники основано на физических достижениях не должно иметь надуманных и неоправданных ограничений.

[1] F. Auzel. USA Pat 3709827.10/02 1970

[2] Light-emitting Phophors Combination. CA Pat 90000620 .16/05/1972

[3] В.Абрамов.В.П.Сушков/Авт.СССР 635813. 09/12/1977

[4] S.Nakamura .Blue laser Diode .SpringerVerl. Berlin 1997

[5] S.Shimizu et and.USA Pat 5998925, . 12.07.1999

PATENT HISTORY OF WHITE LIGHT-EMITTING DIODES WITH CONVERTERS

N.P. Soshchin.

R@D NII • PLATAN • Zavodsko Pr2 Frjazino, Moskow, Russia

The development history LED with luminescent converters is is short presented. It is shown, that creation of a white light-emitting diode has been connected by development of technics and cannot be monopoly one technical company/

ФОСФОРЫ ДЛЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ

Р.Б. Джаббаров^{1}, Н.Н. Мусаева¹, С.Г. Абдуллаева¹,
F. Scholz², T. Wunderer², P. Benalloul³, C. Barthou³*

¹Институт Физики, Национальной Академии Наук Азербайджана, Баку, Аз-1143, Г. Джавид пр. 33, Азербайджан. Тел. (+994124394057), e-mail: rjabbarov@physics.ab.az

²Университет Ульма, Институт Оптоэлектроники, Ульм, Германия

³Университет П. и М. Кюри, Парижский Институт Нанонауки, Франция

Для того чтобы достигнуть высокой интенсивности белого светодиода, в последние годы были активно изучены разные технологии для применения их к твердотельному освещению. Развитие широкозонных III-V нитридных полупроводников и люминофоров, привели к коммерческому производству белых светодиодов [1]. Технология синего светодиода (СД) на основе InGaN сделала возможным создание белого СД. Белый свет был получен покрытием синего светодиода (чип) порошковыми люминофорами: желтыми YAG:Ce, или зелено/красными (SrGa₂S₄:Eu²⁺/SrS:Eu²⁺ сулфидами, или зелено/красные нитридами). Развитие люминофоров расширило их применение в белых СД, которые имеют высокий срок службы и низкое потребление энергии. Однако, в обычной фосфор-преобразовательный СД структуре, важно улучшение низкого коэффициента преобразования люминесционного слоя, чтобы достичь целей в области твердотельного освещения. При этом необходимо улучшить свойства самого люминофора, в том числе и люминофорный слой-СД геометрию.

Требования к люминофорам очень строгие - высокое поглощение при возбуждении ближним УФ и синим светом; высокая квантовая эффективность; быстрое затухание люминесценции; слабое температурное тушение; термическая и химическая стабильность.

Представлены результаты исследования люминофоров на основе соединений Ca(Sr)Ga₂S₄, активированных ионами Eu²⁺ и композитов на их основе. Благодаря высокой квантовой эффективности и положению максимума излучения, эти люминофоры являются довольно интересными для визуализации и освещения. Внутрицентриковой переход 4f⁶5d→4f⁷(8S_{7/2}), простирающийся на видимую область спектра из-за сильного нефелагического эффекта дает возможность исследованным материалам эффективно возбуждаются синим СД. Спектр возбуждения исследованных люминофоров представляет собой экстремально широкую полосу и объясняется поглощением ионов Eu²⁺. Исследованные белые СД представляли систему которая состоит из диодной структуры (чип) (длины волны излучения 405, 415, 460 нм) и люминофора на основе Ca(Sr)Ga₂S₄:Eu²⁺.

Светодиодные структуры GaInN, используемые для этих исследований выращены методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений при низком давлении на подложках с-сапфира. После роста зародышевого слоя AlN был выращен 2 мкм нелегированный буферный слой GaN, содержащий тонкий слой SiN уменьшающий плотность дефектов [2], а затем 2 мкм легированный слой n-GaN. Активная область состоит из одной квантовой ямы GaInN выращенной при температуре ~800°C с содержанием около 10% In, покрытой 10 нм барьерным слоем AlGaN. Структура завершалась 200 нм GaN слоем, легированным Mg. Исходные светодиодные структуры демонстрируют электролюминесценцию при 415 нм с полушириной спектра ~110 мэВ при комнатной температуре.

С помощью модели конфигурационных координат качественно объяснены такие факты, как закон Стокса, ширина полос поглощения или излучения и их температурная зависимость. Объяснена связь между вероятностями многофононных безызлучательных переходов и колебаниями кристаллической решетки и их влияние на люминесцентные свойства люминофоров. Форма спектра излучения и вероятность безызлучательных переходов обсуждены с помощью модели конфигурационных координат, основанной на квантомеханических представлениях.

- [1] S. Nakamura, M. Senob, N. Iwasa, S. Nagahama, T. Yamada, and T. Mukai, "Superbright green InGaN singlequantum-well-structure light-emitting diodes," Jpn. J. Appl. Phys. **34**(Part 2, No. 10B), L1332–L1335 (1995).
- [2] J. Hertkorn, P. Brückner, S. Thapa, T. Wunderer, F. Scholz, M. Feneberg, K. Thonke, R. Sauer, M. Beer, and J. Zweck, J. Cryst. Growth. **308**, pp. 30–36, 2007.

PHOSPHORS FOR WHITE LEDs

R.B. Jabbarov^{1}, N.N. Musayeva¹, S.H. Abdullaeva¹,
F. Scholz², T. Wunderer², P. Benalloul³, C. Barthou³*

¹Institute of Physics, Azerbaijan National Academy of Sciences, Az1143, H. Javid av. 33, Baku, Azerbaijan. rjabbarov@physics.ab.az

²Institut fuer Optoelektronik, Ulm University, Ulm, Germany

³Institut de NanoSciences de Paris (UMR CNRS – Université Pierre et Marie Curie)

Results of studies of phosphors based on $\text{Ca}(\text{Sr})\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ are presented. Due to its high efficiency and emission characteristics this phosphors are very attractive for use in solid-state lighting devices. Absorption spectrum of phosphors studied is extremely broad, that can be explained by absorption of Eu^{2+} ions.

White LEDs based on $\text{Ca}(\text{Sr})\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ phosphor and chips with emission wavelength of 405, 415 and 460 nm were studied.

ЗЕЛЕНЫЙ СВЕТОДИОД НА ОСНОВЕ ЛЮМИНОФОРА, ВОЗБУЖДАЕМОГО ФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ p-n-ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ InGaAlN

Н.П. Социн², Д.М. Коган^{1*}, Н.А. Гальчина¹, Ю.А. Портнягин³.

¹ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ», Щербаковская ул., д. 53, 105187, г. Москва, тел. +7(495)366-05-33,
e-mail: Levkogan@mail.ru

²ФГУП НИИ «Платан», 141191, г. Фрязино.

³ООО «КБСП», Щербаковская ул., д. 53, 105187, г. Москва.

В развитие работы [1] разработан зеленый светодиод (СД) на основе люминофора, возбуждаемого фиолетовым излучением p-n-гетероструктуры InGaAlN. Использовались кристаллы фирмы “SemiLEDs” типа SL-V-U40AC размером 1,07x1,07 мм. Кристалл монтировался на печатной плате с высокой теплопроводностью. Вокруг кристалла размещался керамический отражатель бокового излучения, содержащий полимер с распределенным в нем люминофором. Необходимый угол излучения формировался полимерной линзой.

В качестве люминофора использовался ортосиликат бария-стронция, активированный ионами Eu^{2+} и Ce^{3+} . Длинноволновый сдвиг полосы излучения создается при изменении содержания Sr ($>0,7$) и Ba ($<0,96$). Активатор Eu^{2+} создает две основные полосы возбуждения: 300-350 и 385-450 нм, активатор Ce^{3+} - полосу 430-450 нм. В связи с наличием полосы возбуждения люминофора 385-450 нм (рис. 1) были применены кристаллы с $\lambda_{\text{max}} = 395-405$ нм.

Спектр излучения СД (рис. 2) имеет 2 полосы: фиолетовую с $\lambda_{\text{max}} = 401$ нм и полушириной около 14 нм и зеленую с $\lambda_{\text{max}} = 525$ нм и полушириной около 72 нм. Полуширина зеленой полосы вдвое больше, чем у “традиционного” зеленого СД с кристаллом из InGaAlN (~35нм). Изменение спектров излучения СД с ростом прямого тока от 100 до 350 мА показывает, что насыщение люминофора при этом отсутствует. Люмен-эквивалент излучения составил 450-500 лм/Вт.

Цветность полученного зеленого излучения на цветовом графике МКО 1931 соответствует области $x = 0,3 - 0,32$, $y = 0,58 - 0,61$ (рис. 3), которая незначительно отличается от типичной для “традиционных” зеленых СД области $x = 0,22 - 0,24$, $y = 0,58 - 0,64$ (спектральный интервал 520-525 нм).

При прямом токе СД 350 мА световой поток F_v составляет 85-95 лм, что соответствует световой отдаче $\eta_v = 75-85$ лм/Вт. Осевая сила света СД равнялась 25-29 кд при $2\theta_{0,5} = 110^\circ$, 35-40 кд при $2\theta_{0,5} = 80^\circ$ и 130-140 кд при $2\theta_{0,5} = 20^\circ - 30^\circ$. Полученные значения η_v (до 85 лм/Вт) существенно выше, чем у “традиционных” зеленых СД (менее 50 лм/Вт).

Как следует из рис. 4, зависимость F_v зеленых СД от тока (в диапазоне значений 50-400 мА) близки к линейной. Соответственно, η_v СД в указанном диапазоне токов меняется незначительно. Дальнейшее совершенствование гетероструктуры с фиолетовым излучением, люминофора, конструкции СД может привести, по нашей оценке, к повышению η_v зеленого СД до 120 лм/Вт.

Наличие столь эффективного СД зеленого свечения может послужить предпосылкой для создания источника белого свечения на основе использования нескольких полос излучения (красной с $\eta_v > 80$ лм/Вт, зеленой с $\eta_v > 120$ лм/Вт, желтой с $\eta_v > 100$ лм/Вт и т.п.) с увеличенными значениями световой отдачи и индекса цветопередачи.

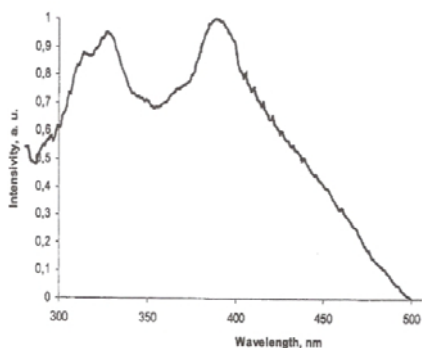


Рис.1 Спектр возбуждения люминофора

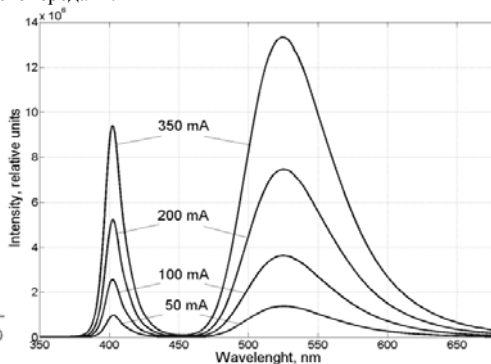


Рис.2 Спектр излучения СД

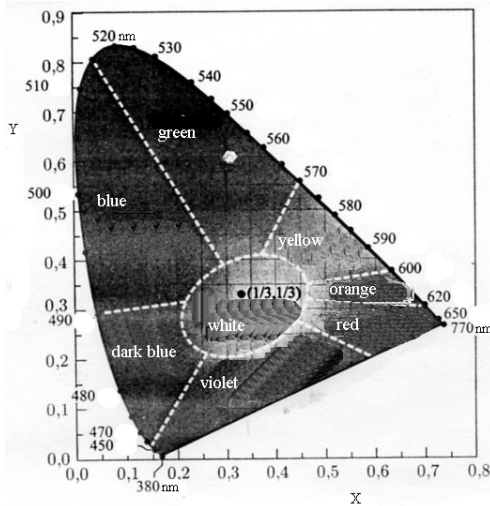


Рис.3 Ориентировочная цветность излучения СД на цветовом графике МКО 1931 (белая точка)

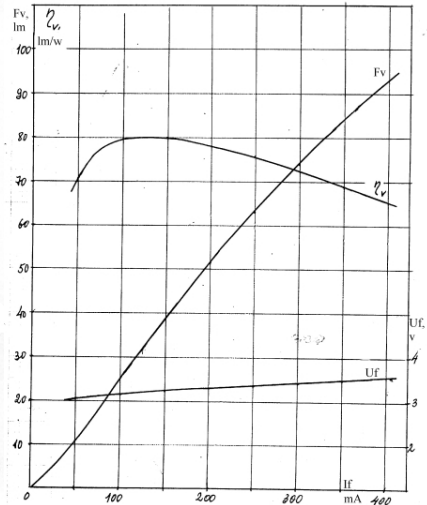


Рис.4 Зависимости F_v , η_v и U_f от прямого тока J_f

[1] Н.А. Гальчина, Л.М. Коган, Н.П. Социн и др. Мощные светодиоды с ультрафиолетовым и зеленым излучением // Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы: Тез. докладов 6 Всероссийской конф., С.-Петербург, 18-20 июня 2008. - С.-Петербург: Би., 2008. – с. 96-97.

GREEN LIGHT-EMITTING DIODE BASED ON PHOSPHOR, EXCITED BY VIOLET RADIATION FROM InGaAlN P-N-HETEROSTRUCTURES

N.P.Soshcin², L.M.Kogan¹, N.A.Galchina¹, J.A.Portnyagin³.*

¹Open Company "NPC OEP "OPTEL",
street Shcherbakovskaja, д. 53, 105187, Moscow, ph. +7 (495) 366-05-33,
e-mail: Levkogan@mail.ru

²FSUE SRI "Platan", 141191. Фрязино.

³Open Company "KBSР", street Shcherbakovskaja, д. 53, 105187, Moscow.

Green light-emitting diode (LED) on a basis люминофора, raised by violet radiation p-n-гетероструктуры InGaAlN is developed. It is described applied люминофор (on a basis ortosilicata barium - strontium). Representations about design LED, in a spectrum and are given to chromaticity of radiation, and also a light stream of it LED. Last reaches 95 lm (at a current 350 mA), and light feedback, accordingly, - 85 lm/W, that is essentially higher, than at "traditional", green LED. The opportunity of creation white LED with light feedback increase is considered at use of highly effective strips of radiation.

МОШНЫЕ СВЕТОДИОДЫ БЕЛОГО СВЕЧЕНИЯ С СВЕТОВОЙ ОТДАЧЕЙ ДО 100 лм/Вт И МОДУЛИ НА ИХ ОСНОВЕ

Н.А.Гальчина¹, А.Л. Гофштейн-Гардт¹, Д.М. Козан², И.Т. Рассохин¹, Н.П Социн²
¹ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ», Щербаковская ул., д. 53, 105187, г. Москва, тел. +7(495)366-05-33,
e-mail: Levkogan@mail.ru

²ФГУП НИИ «Платан», 141191, г. Фрязино.

Разработаны светодиоды (СД) белого свечения с потребляемой электрической мощностью ($P_{эл}$) 1,2, 3,2 и 7 Вт. В отличие от предшествующих конструкций [1,2] СД изготавливаются на печатных платах, основой которых является медь или алюминий. Используются кристаллы синего свечения размером примерно 1x1 мм, выполненные на основе р-п-гетероструктуры в системе InGaAlN, фирм SemiLEDs и “Gree” с мощностью излучения 300-500 мВт. Кристаллы монтируются на печатную плату, вокруг кристалла размещается специальный отражатель, содержащий полимер с распределенным в нем люминофором (рис. 1).

Для получения естественного белого свечения с коррелированной цветовой температурой (КЦТ) в диапазоне 4500-6000 К разработаны составы иттрий-гадолиниевого граната. В процессе технологии точно контролировалась концентрация активатора Ce^{+3} . Микромонокристаллы имели размер 4-8 мкм. Для получения “теплого” белого свечения с КЦТ 3200-3500 К разработан состав алумогодолиниевого граната, в который дополнительно введены малоразмерные катионы из ряда Yb, Lu, Tb. Для получения “сверхтеплого” белого свечения с КЦТ 2100 К и $\lambda_{max} = 595$ нм часть ионов кислорода замещалась на ионы Ce^{-1} или Bt^{-1} ,

Достигнутые световые параметры СД с естественно-белым и “теплым” белым свечением приведены в таблице.

Тип	Входные электрические параметры			Световые параметры			Световая отдача η_v , лм/Вт
	J_f , mA	$U_{пр}$, В, не более	$P_{эл}$, Вт	Световой поток F_v , лм	Сила света J_v , кд	КЦТ, К	
У-130Бл	350	3,5	1,2	90-110	25-30	4500-	98
У-133Бл	350	9,0	3,2	230-260	70-80	6000	83
У-137Бл	700	10,0	7,0	420-450	130-140		65
У-130Бл-Г	350	3,5	1,2	75-82	20-25	3200-3500	73

Примечания: 1. Угол излучения СД $2\theta_{0,5} \approx 120$ град.

2. Координаты цветности СД находятся в диапазоне: $x = 0,33 - 0,36, y = 0,34 - 0,38$.

Как следует из таблицы, СД с естественно белым свечением и $P_{эл} = 1,2$ Вт характеризуются F_v до 110 лм и η_v до 98 лм/Вт. СД с $P_{эл} = 3,2$ Вт имеют F_v до 260 лм и высокую η_v до 83 лм/Вт. СД с $P_{эл} = 7$ Вт имеют F_v до 450 лм но несколько пониженную величину η_v до 65 лм/Вт. СД с “теплым” свечением с $P_{эл} = 1,2$ Вт характеризуются F_v до 82 лм и η_v до 73 лм/Вт. Таким образом, достигнутые значения световой отдачи соответствуют мировому техническому уровню.

Образцы “сверхтеплых” СД с КЦТ 2100 К имели η_v до 47 лм/Вт.

Световой поток F_v несколько насыщается с ростом прямого тока (см. рис. 2). Световая отдача существенно изменяется с ростом тока. Так у СД с $P_{эл} = 1,2$ Вт величина η_v при токе 50 мА достигает 120 лм/Вт. У СД с $P_{эл} = 3,2$ Вт η_v при токе 50 мА достигает 103 лм/Вт. У СД с $P_{эл} = 7,0$ Вт η_v при токе 100 мА достигает 95 лм/Вт.

Разработан также СД с углом излучения 7-10 град и силой света 1500-2000 кд.

Разработана светодиодная линейка на плате с Al основой, содержащая 9 СД по типу У-130Бл. При входном напряжении $U_{вх} = 10$ В и прямом токе $J_{пр} = 1$ А световой поток достигает 750 лм, что соответствует $\eta_v \approx 75$ лм/Вт.

Разработанный модуль на плате с Al основой, содержащий 7 СД по типу У-130Бл, обеспечивает при $U_{вх} = 22$ В и $J_{пр} = 0,35$ А световой поток F_v до 690 лм, что соответствует световой отдаче $\eta_v \approx 90$ лм/Вт. Светодиодная линейка и модуль характеризуются естественно-белым цветом свечения и предназначены для использования в светотехнических изделиях.

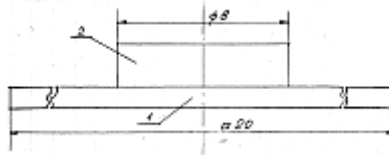


Рис. 1. Светодиод. 1- печатная плата, 2 – светопреобразующий узел, содержащий кристалл, отражатель и люминофор.

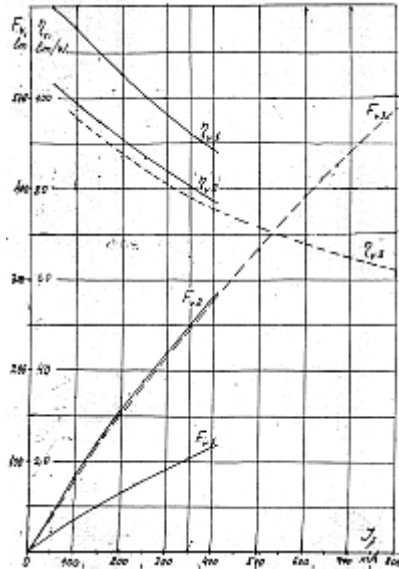


Рис. 2. Зависимости F_v и η_v от прямого тока J_f . Индекс 1 – СД с $P_{эл} = 1,2$ Вт, индекс 2 – СД с $P_{эл} = 3,2$ Вт и индекс 3 -- СД с $P_{эл} = 7$ Вт.

[1] Л.М.Коган. Светотехника, 2002 г., №5, стр. 16-20.

[2] М.Г.Варешкин, Н.А.Гальчина, Л.М.Коган и др. Светотехника, 2005 г., №1, стр.15-17.

HIGH -POWER LIGHT-EMITTING DIODES OF THE WHITE LUMINESCENCE WITH LIGHT FEEDBACK UP TO 100 lm/W AND MODULES ON THEIR BASIS

N.A.Galchina¹, A.L.Gofshtejn-Gardt¹, L.M.Kogan^{},
I.T.Rassohin¹, N.P.Soshcin²*

¹Open Company "NPC OEP "OPTEL", street ShCherbakovskaja, д. 53, 105187, Moscow, ph. +7 (495) 366-05-33, e-mail: Levkogan@mail.ru "

² FSUE SPI "Platan", 141191, Fryasino

Light-emitting diodes (LED) of a white luminescence with consumed electric capacity ($P_{эл}$) 1,2, 3,2 and 7 W are developed. In designs printed-circuit-boards with a copper or aluminium basis are used. Are briefly characterized used luminoфор. Achieved light parameters LED with a natural - white luminescence with color temperature (KCT) 4500-6000 K and a "warm" white luminescence with KCT 3200-3500 K. The stream (F_v) LED with $P_{эл} = 1,2$ W reaches 110 lm, and light feedback $\eta = 98$ lm/W; LED with $P_{эл} = 3,2$ W reaches 260 lm, and $\eta = 83$ lm/W; F_v LED with $P_{эл} = 7$ W reaches 450 lm, and $\eta = 65$ lm/W. Designs and parameters of the ruler containing 9 LED (η to 75 lm/W), and the module containing 7 LED ($\eta = 90$ lm/W) are described.