

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ БЕЛОГО СВЕТА С БИОЛОГИЧЕСКИ АДЕКВАТНЫМ СПЕКТРОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Капцов В. А.¹, зав. отделом гигиены труда, д-р мед. наук, проф., член-корр. РАН; **Дейнего В. Н.**², руководитель проекта по светодиодному освещению; **Уласюк В. Н.**², генеральный директор, д-р физ.-мат. наук, проф.

¹ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены Роспотребнадзора (ВНИИЖГ), г. Москва;

² ЗАО «Научно-производственная коммерческая фирма «ЭЛТАН ЛТД»», г. Москва.

Введение

В настоящее время полупроводниковые источники белого света, изготовленные по светодиодной технологии, активно продвигаются на мировом светотехническом рынке. Эра светодиодного освещения наступила с того момента, когда Сюдзи Накамура (Нобелевский лауреат по физике 2014 года) покрыл синий светодиод желтым люминофором и получил белый свет с дискретным спектром излучения, который отличался от непрерывного солнечного спектра и спектра лампы накаливания. Всего за 10 лет (рис. 1) светодиодные технологии (типа pc-Led warm и pc-Led cool white) достигли прогнозируемых в 2000 годах уровней световой эффективности 150 лм/Вт. Однако вопросы воздействия их дискретного спектра излучения на зрительный анализатор человека и его гормональную систему остаются нерешенными, так как для получения корректных оценок требуются продолжительный период наблюдений [1].

В своих оценках перспективности светодиодного освещения эксперты возлагают большие надежды на технологию sm-Led (RYGB), но при этой технологии получают белый свет с дискретным спектром, в котором в области чувствительности меланопсина ганглиозных клеток сетчатки имеется выброс синего света и провал в области 480 нм. С учетом меланопсиновых эффектов в статье [2] дана гигиеническая оценка перспективности концепций развития полупроводниковых источников белого света по технологии sm-Led (RYGB). По этому критерию традиционные светодиодные лампы с дискретным спектром излучения антифизиологичны и могут угрожать здоровью пользователей. Медицинское обоснование применения этой технологии в

В настоящее время процесс развития светодиодного освещения подошел к точке бифуркации, и светотехники стоят перед выбором перспективной концепции развития. Рассмотрены две концепции развития твердотельного освещения – полупроводниковых источников белого света. Первая основана на базе традиционных светодиодов, излучающих белый свет с дискретным (линейчатым) спектром, а вторая – на базе полупроводниковых источников белого света с непрерывным и биологически адекватным спектром излучения. В основу перспективности двух концепций положена оценка полезности излучаемого ими белого света для зрительного анализатора и здоровья человека в целом.

Приведены результаты экспертной оценки сотрудниками Министерства энергетики США перспектив развития традиционной светодиодной технологии, которая, по их мнению, должна учитывать физиологию человека. Это требование существенно ограничивает возможности применения традиционной светодиодной технологии с дискретным спектром излучения в системе общего освещения. По мнению мирового экспертного сообщества, главный вопрос современной светотехники – выбор правильного спектра белого света, безопасного и комфортного для всех возрастных групп и уменьшающего световое загрязнение окружающей среды.

С учетом закономерностей и особенностей восприятия зрительным анализатором белого светодиодного света предложена концепция полупроводниковых источников с непрерывным и биологически адекватным спектром излучения, что позволит во много раз сократить световую нагрузку на зрительный анализатор человека, обеспечить его реакцию, аналогичную реакции на солнечный свет. Представлены результаты измерений характеристик опытного образца новой лампы, разработанной в ходе выполнения НИР «Разработка промышленной технологии производства энергоэффективных светодиодных источников белого света с биологически адекватным спектром излучения».

Ключевые слова: синий свет, биологическая опасность, фототоксичность, сетчатка, светодиоды, антиоксидантные добавки, зрение.

Kaptsov V.A., Deynego V.N., Ulasiuk V.N., Kosits I.N.
SEMICONDUCTOR SOURCES OF WHITE LIGHT WITH BIOLOGICALLY ADEQUATE RADIATION SPECTRUM

Currently, the process of developing LED lighting has approached the point of bifurcation, and lighting technicians faces a choice of a promising development concept. Two concepts are considered of the development of solid-state

РФ явно недостаточно [2]. Спектральный состав искусственной световой среды обитания человека вызывает неадекватный отклик в биологических структурах зрительного анализатора человека, в отличие от спектра солнечного света с гигиенически безопасной цветовой температурой. Эксперты в 2017 году дали следующую оценку ситуации: «... поскольку применимость светодиодного освещения увеличивается, важно, чтобы эти продукты были разработаны с учетом физиологии человека. Светодиоды являются долговременной технологией, и поэтому настало время провести исследование и дать рекомендации по освещению с положительными последствиями для человека. Чтобы включить физиологическое полезное освещение в качестве товарной и привлекательной характеристики, эти эффекты необходимо количественно оценить с помощью стандартизированных показателей» [3, 4]

На очередном заседании НТС «Светотехника» (12 декабря 2017 г., кафедра светотехники МЭИ) в своем докладе «Особенности воздействия светодиодных источников света на орган зрения взрослых, детей и подростков» офтальмохирург, доктор медицинских наук, академик Российской академии медико-технических наук, член Американской ассоциации детских офтальмологов и страбизмологов Игорь Азнаурян обратил внимание светотехников на тот факт, что при светодиодном освещении зрачок более открыт, чем при солнечном свете при равном уровне освещенности. В заключение доклада Игорь Азнаурян отмечает: «Родители все чаще задают нам как офтальмологам вопрос, можно ли освещать детское рабочее место светодиодной лампой. Хотелось бы исследовать еще один аспект – влияние на аккомодацию, с которой напрямую связаны и рефрактогенез, и глазодвигательные функции глаз, и, возможно, астенопические жалобы. Однако в литературе это проблема остается нераскрытой».

С целью обеспечения здорового образа жизни в помещениях американский Институт сертификации зеленого строительства (IWBI) разработал новый стандарт. Этот строительный стандарт под названием WELL, будучи введенным в систему сертификации Руководство по энергоэффектив-

sources of light (i. e. semiconductor sources of white light). The first concept is based on traditional LEDs that emit white light with a discrete (line) spectrum, and the second is based on semiconductor sources of white light with a continuous and biologically adequate spectrum of radiation. The perspective of the two concepts is based on the evaluation of the usefulness of the white light emitted by them for the visual analyzer and human health in general.

The results are given of an expert evaluation of the prospects for the development of traditional LED technology by the employees of the US Department of Energy. In their opinion, we should take into account human physiology. This requirement significantly limits the possibility of using traditional LED technology with a discrete spectrum of radiation in a general lighting systems. According to the world expert community, the main issue of modern lighting technology is choosing the right spectrum of white light, safe and comfortable for all age groups and reducing light pollution of the environment.

Taking into account the regularities and peculiarities of white LED light perception by visual analyzer, the concept is proposed of semiconductor sources with a continuous and biologically adequate spectrum of radiation. It will significantly reduce the light load on human visual analyzer, making its reaction similar to the reaction to sunlight. The results are presented of measurements of the characteristics of a new lamp prototype developed during the research «Development of an industrial technology for the production of energy-efficient LED white light sources with a biologically adequate spectrum of radiation».

Key words: blue light, biological hazard, phototoxicity, retina, LEDs, antioxidant supplements, vision.

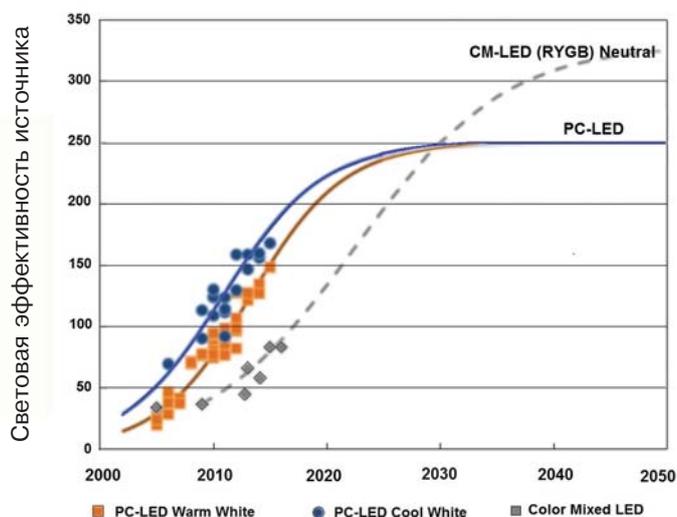


Рис. 1. Достигнутые и прогнозируемые уровни световой эффективности часто применяемых светодиодов (синие кружки) – холодные белые (5700 K) pc-Led, оранжевые (квадраты) – теплый белый (3000 K) pc-Led и серые квадраты – cm-Led (RYGB)

ному и экологическому проектированию (англ. Leadership in Energy and Environmental Design, **LEED**), определяет правила построения интерьеров, отвечающих **медико-санитарным требованиям**. Согласно новому стандарту, все здания оцениваются по 7 параметрам: **освещение**, комфорт, воздух, вода, питание, физическое состояние че-

ловека и настроение. Освещение – главный критерий WELL, так как количество света влияет на биоритмы, а значит и на работоспособность человека. WELL Building Standard® стремится пойти «гораздо дальше», чем обычные рекомендации по освещению. Он не только учитывает остроту зрения и рекомендует избегать бликов, но также признает «важную роль ганглиозных клеток ipRGCs, которые влияют на формирование изображения и циркадные эффекты». **В наших же строительных стандартах основные положения «зеленого строительства» отсутствуют.**

Вся физиология зрения формировалась в условиях непрерывного спектра солнечного света. Но принципы восприятия света и передачи зрительной информации обуславливают фактор риска повреждения зрительного анализатора при световой перегрузке и являются «фотобиологическим парадоксом зрения» (термин введен академиком РАН М. А. Островским [5]). **Световая перегрузка** – вот ключевые слова и критерий оценки первопричины отрицательного воздействия искусственного света на функциональные структуры зрительного анализатора человека. В отчете [6] за 2016 год Департамента энергетики Министерства энергетики США по итогам совещания «Физиологические ответы на свет» говорится:

- Необходимы *новые показатели качества света и определение здоровой дозировки освещения*. Это позволило бы проводить скоординированные исследования, которые помогут уточнить, что происходит, когда *фоторецепторы получают разные уровни световых сигналов* (в виде потока фотонов).
- Необходимы дополнительные исследования новых величин для оценки интенсивности взвешенного освещения фоторецептора.
- Все аспекты медицинских проблем необходимо рассмотреть до массового внедрения светодиодов.
- Необходимо определить конкретные световые характеристики, которые следует *усилить или устранить* [6].

В основе наших разработок положены исследования В. ван Боммель [7,8], Г.К. Брейнарда [9], Д.Х. Слайни [10], М.А. Островского [11], П.П. Зака [12] и сотрудников Института биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН о

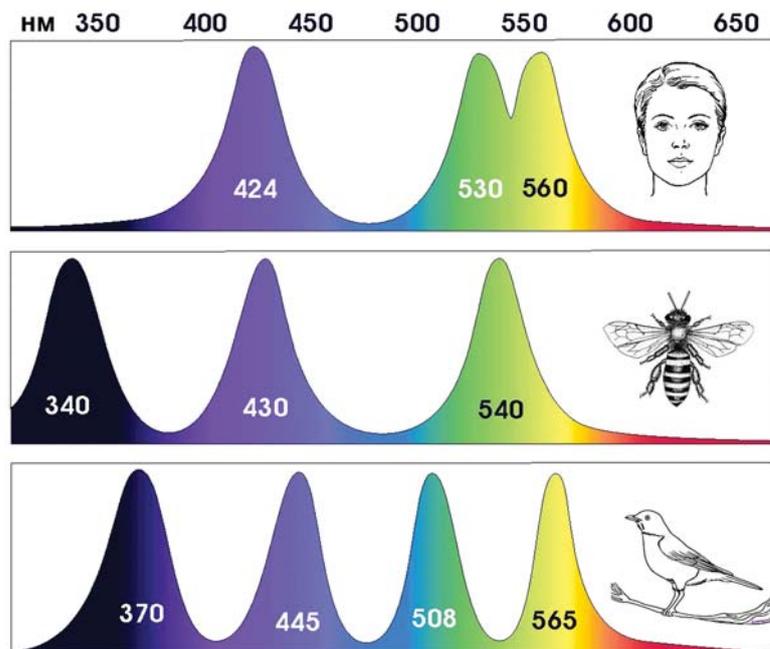


Рис. 2. Спектральная чувствительность клеток сетчатки глаз различных биологических объектов.

влиянии дискретного спектра светодиодного света на зрительный анализатор человека и его гормональную систему, а также результаты исследования, проведенного в 2008 году специалистами Управления перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США. В 2010 году мы поставили амбициозную задачу: разработать полупроводниковый источник света с биологически адекватным, то есть непрерывным спектром излучения. Для решения этой задачи были изучены конструктивно-технологические особенности перспективных современных светодиодных технологий и видеоэкологические аспекты влияния светодиодного света на зрительный анализатор. По результатам исследований проведена большая работа по патентованию полупроводникового источника белого света с биологически адекватным спектром излучения, которая продолжается и сейчас.

Солнечный спектр света является основополагающим для всего живого на земле. Каждое живое существо в силу структурной организации светочувствительных клеток воспринимает ту часть солнечного света, которая жизненно важна для него. Это часть спектра биологически адекватна для физиологии и может служить основой для качественной и количественной оценки того, насколько спектр излучения искусственных источников света подходит для данного биологического объекта. На рис. 2 приведены данные спектральной чувствительности клеток сетчатки глаз

различных биообъектов. Наглядно видно, что спектральная чувствительность клеток зрительного анализатора распределена по-разному. Но искусственные источники света имеют спектр, отличающийся от солнечного света, что может вызывать неадекватную зрительную и физиологическую реакцию в организме биологического объекта. Эффективность действия искусственного освещения во многом зависит от применяемых источников оптического излучения, адаптированных под спектральную чувствительность органа зрения биообъекта.

Предварительные результаты наших исследований были представлены в 2012 году в Киото на конференции «4-й Международный семинар по фотосвечению в редких землях: фотонные материалы и приборы» в докладе доктора физико-математических наук, профессора В.Н. Уласюка и кандидата химических наук профессора Н.П. Сощина «Биологически адекватные белые светодиодные лампы, построенные на редкоземельных люминофорах».

При этом необходимо отметить, что уже в 2008 году, не привлекая широкого внимания, три профессора – Стив Ден Баарс, Джим Спек и Сюдзи Накамура, к которым присоединились ведущие специалисты из Philips Lumileds и Intel, собрали команду высококлассных инженеров и основали новую компанию Sogaа по выпуску светодиодных ламп нового поколения. Они получили финансирование и построили опытный завод в Фримонте, штат Калифорния (США). Свои амбициозные планы специалисты фирмы Sogaа закрепили патентом US2015/0062892 A1 от 5 марта 2015 г. «Circadian friendly led light source» (SORAA, INC, Fremont, CA(US). [13]. В настоящее время проблемами повышения потребительского качества светодиодного света (цели: индекс цветопередачи более 95, минимальное негативное воздействие на здоровье) и перевода его спектра из дискретного в непрерывный заняты ведущие производители светодиодов. Наибольшего успеха добились следующие фирмы:

- Toshiba Material Co., LTD технологии TRI-R;
- Seoul Semiconductor SunLike (на базе технологии TRI-R). Руководство компании заявляет: «Мы откроем новую, здоровую эру естественного света благодаря светодиодам технологии SunLike, свет которых максимально близок к спектру солнечного света, с которым люди живут уже много тысяч лет»;
- NICHIA в рамках работ по повышению показателя CRI до уровня 100 заполнила провал в области 480 нм, 670 нм и значительно снизила выброс 460 нм и в целом приблизила спектр к спектру солнечного света с цветовой температурой 5000 К.

В гонку по получению спектра белого света с высоким значением показателя CRI включаются также Samsung и CREE.

Стоит учитывать, что искусственный свет с дискретным спектром по спектроэнергетической характеристике может приближаться к спектру солнечного света, но при этом все равно вызывает в структурах зрительного анализатора реакции, отличные от тех, что происходят при солнечном свете [15, 16].

Материалы и методы

Изучив базовые светодиодные технологии ведущих производителей (во все конструкции люминофоры работают на просвет) и механизмы воздействия светодиодного света на зрительный анализатор человека и его гормональную систему [15], мы предложили ряд технических решений, позволяющих сократить выброс синего света и уменьшить провал в области 480 нм, чтобы получить белый свет с биологически адекватным спектром. Суть этих решений изложена в наших первых патентах «Источник белого света с удаленным отражательным многослойным фотолуминесцентным конвектором» 01.08.2011 [14] и формуле изобретения:

1. Осветитель, включающий источник первичного излучения, состоящий из одного или нескольких светоизлучающих диодов; теплоотводящее основание с поверхностью, на которой закреплены указанные светоизлучающие диоды; конвертер излучения, выполненный в виде слоя конверсионного материала, который преобразует первичное излучение, попадающее на его поверхность от светоизлучающих диодов, во вторичное излучение, и светоотражатель с поверхностью, отражающей попадающее на нее излучение; причем конвертер излучения расположен между источником первичного излучения и отражателем вблизи от указанной поверхности отражателя, а светоотражатель и конвертер расположены в отдалении от источника первичного излучения; теплоотводящее основание имеет отверстие для выхода излучения. Конвертер имеет многослойную структуру, включающую по крайней мере два фотолуминесцентных слоя с различной длиной волны вторичного излучения. Поверхность конвертера, облучаемая светоизлучающими диодами, и поверхность светоотражателя имеют вогнутую форму, обращенную вогнутой стороной к указанному отверстию и светоизлучающим диодам, причем светоизлучающие диоды расположены вблизи от периметра отверстия.

2. Осветитель по п. 1, отличающийся тем, что конвертер имеет трехслойную структуру, включающую три фотолуминесцентных слоя с различ-

ной длиной волны вторичного излучения. Причем указанные слои располагаются по толщине конвертера по направлению от светоотражателя по мере уменьшения длины волны спектрального максимума фотолуминесценции каждого из указанных слоев.

3. Осветитель по п. 2, отличающийся тем, что фотолуминесцирующим материалом ближнего к светоотражателю слоя конвертера является $(CaMg)3Lu2Si3O_{12}:Ce$ с красно-оранжевым цветом свечения, средний слой выполнен из $(Y_{0,75}Gd_{0,25}Ce_{0,05})3Al_2[(AlO_{3,94}F_{0,03}N_{0,03})]_3$ с желто-зеленым цветом свечения, а наиболее удаленный от светоотражателя слой выполнен из $(Ba_{0,85}Sr_{0,12}Eu_{0,03})_2SiO_{3,96}F_{0,02}$ с голубовато-зеленым цветом свечения.

4. Осветитель по п. 1, отличающийся тем, что поверхности конвертера и отражателя имеют форму осесимметричных фигур, усеченных плоскостью, параллельной плоскости отверстия в теплоотводящем основании, – например, эллипсоида вращения (в частности, сферы или параболоида) с главной осью, перпендикулярной плоскости отверстия в теплоотводящем основании.

5. Осветитель по п. 1, отличающийся тем, что поверхности конвертера и отражателя имеют форму плоскостесимметричных фигур, усеченных плоскостью, параллельной плоскости отверстия в теплоотводящем основании, – например, усеченного цилиндра с плоскостью симметрии, перпендикулярной плоскости отверстия в теплоотводящем основании.

6. Осветитель по п. 1, отличающийся тем, что теплопроводящее основание включает выступ, экранирующий прямой выход первичного излучения в указанное отверстие.

7. Осветитель по п. 1, отличающийся тем, что указанная поверхность отражателя является внутренней поверхностью теплоотводящего радиатора с ребристой внешней поверхностью.

8. Осветитель по п. 4, отличающийся тем, что указанные поверхности конвертера и отражателя сформированы из множества плоских фасеток или сегментов.

9. Осветитель по п. 5, отличающийся тем, что теплоотводящее основание источника первичного излучения выполнено как одно целое с отражателем.

10. Осветитель по п. 1, отличающийся тем, что выпуклая поверхность конвертера, противоположная его вогнутой поверхности, облучаемой первичным излучением, и вогнутая поверхность отражателя разделены оптически прозрачной средой.

11. Осветитель по п. 5, отличающийся тем, что упомянутый выступ теплопроводящего основания содержит плоскую зеркально отражающую

часть, которая направляет попадающее на нее первичное излучение на противоположащую поверхность конвертера.

12. Осветитель по п. 5, отличающийся тем, что светоизлучающие диоды закреплены на теплоотводящем основании таким образом, чтобы ось диаграммы направленности излучения каждого светоизлучающего диода пересекалась с осью симметрии отражателя под углом, равным или меньшим разности между 90° и полушириной диаграммы направленности указанного каждого светоизлучающего диода.

13. Осветитель по п. 5, отличающийся тем, что светоизлучающие диоды закреплены на теплоотводящем основании таким образом, что ось диаграммы направленности излучения каждого светоизлучающего диода параллельна или составляет небольшой угол с осью симметрии отражателя; теплопроводящее основание в области между поверхностью конвертера и светоизлучающими диодами содержит зеркально отражающую наклонную часть, направляющую попадающее на нее первичное излучение на противоположащую поверхность конвертера.

Для апробации основных положений патента был разработан и собран первый полупроводниковый модуль, излучающий свет в области 480 нм. Для его реализации синтезирован люминофор $(Ba_{0,85}Sr_{0,12}Eu_{0,03})_2SiO_{3,96}F_{0,02}$ голубовато-зеленого цвета свечения для заполнения провала в области синего света 480 нм, присущего спектру белых светодиодов (с синим кристаллом и желтым люминофором).

В ходе проведенного анализа влияния состава спектра света на зрительный анализатор человека и его гормональную систему было установлено, что в спектре современных полупроводниковых энергосберегающих источников света должны присутствовать следующие длины волн [15] с соответствующими оптимальными фотонными потоками:

- 480 нм для оптимального управления диаметром зрачка глаза;
- 450 нм и 460 нм для оптимального функционирования биологических структур сетчатки глаза;
- 380 нм, 480 нм, 497 нм, 500 нм и 543 нм для синтеза родопсина из витамина А;
- 570 нм, 540 нм и 440 нм для обеспечения нормальной работы пигментов колбочек и палочек и синтеза оптимального уровня ретиноевой кислоты;
- 630 нм (положительно влияет на образование коллагена);
- 670 нм (положительно влияет на состояние митохондрий клеток).

В основе нашего подхода к синтезу полупроводникового источника света с биологически адекватным спектром излучения лежал следующий алгоритм действий:

1. Из всего многообразия спектрально-энергетических кривых солнечного света определяются те, в спектральном свете которых человек ощущает себя комфортно и безопасно [16]. Это солнечный свет с цветовой температурой 3500 К.

2. В соответствии с гигиеническими требованиями и критериями формируется набор излучателей «люминофор – возбуждающий светодиод» с квазипрямоугольным спектральным паттерном излучаемого света, и его конструкция оптимизируется по критерию максимальной эффективности светоотдачи. Люминофоры выбираются для получения необходимого биологически адекватного спектра света. На первом этапе для заполнения провала в области 480 нм в разработанном полупроводниковом модуле светоотражатель выполнен из люминофора $(\text{Ba}_{0,85}\text{Sr}_{0,12}\text{Eu}_{0,03})_2\text{SiO}_3,96\text{F}_{0,02}$ голубовато-зеленого цвета свечения, а для его возбуждения были применены светодиоды с длиной волны менее 405 нм.

3. Выбирается конструкция светового прибора с камерой смешения света, исходя из условия обеспечения световой отдачи от люминофора, оптимальной тепловой нагрузки и высокой светоотдачи прибора с заданным качеством излучаемого белого света.

4. Проводятся измерения светового прибора, излучающего белый свет с биологически адекватным спектром света.

Обсуждение результатов

В ходе выполнения НИР «Разработка промышленной технологии производства энергоэффек-

тивных светодиодных источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» специалисты ЗАО ЭЛТАН синтезировали соответствующие люминофоры и разработали полупроводниковый источник белого света, в спектре которого нет выбросов в области 450 и 460 нм и провалов в области 480 нм. Исполнители работы пошли **по пути разработки комплексированных полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения**. Для обычной светодиодной ретрофитной лампы был рассчитаны параметры модуля, излучающего голубовато-зеленый свет, который и заполнил провал в области 480 нм в спектре светодиодной лампы. Этот подход позволил не отказываться от достигнутых уровней световой отдачи обычных белых светодиодов (синий кристалл – желтый люминофор) и широко применять уже наработанные конструктивные элементы (радиаторы, цоколи и рассеиватели). Все это вместе позволило создать относительно недорогой источник белого света с биологически адекватным спектром излучения.

В таблице представлены результаты измеренных светотехнических характеристик, а на рис. 3 приведен измеренный во ВНИСИ спектр света новой светодиодной ретрофитной лампы Б22 1-4Сгее. На спектре мы видим, что провал в области 480 нм заполнен больше, чем у обычных светодиодных ламп.

После завершения НИР «Разработка промышленной технологии производства энергоэффективных светодиодных источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» работы по совершенствованию спектра света продолжаются. На рис. 4 представлены ее текущие результаты.

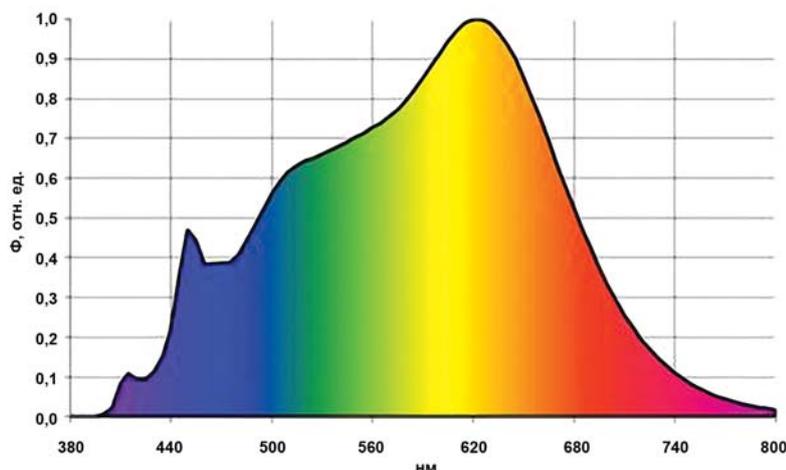


Рис. 3. Спектр излучения светодиодной ретрофитной лампы Б22 1-4Сгее (Протокол № 84/17 стр. 3 из 3) ЗАО «НПКФ «ЭЛТАН ЛТД».

Этот спектр белого света не имеет недостатков, присущих стандартному белому светодиоду, и более гладок по сравнению со спектром ранее разработанных ламп. Данный спектр является непрерывным и по составу соответствует спектру радужного солнечного света при безопасной цветовой температуре 3000 К. Разработка защищена патентом на изобретение в России с приоритетом от 2011 года, а также рядом патентов Европы, Южной Кореи, США и Китая [17].

Работы продолжаются, конструкция лампы дорабатывается и улучшается. В настоящее время уже разработана лампа с биологически адекватным спектром излу-

Измеренные светотехнические характеристики лампы Б22 1-4Сree, которые соответствуют ТЗ заказчика (протокол №84/17 15.02.2017 г.)

№ п/п	Измеренный размер	Измеренное значение
1	Световой поток лампы Φ , лм	240
2	Потребляемый ток I, А	0,13
3	Потребляемая мощность P, Вт	3,1
4	Цветовая температура T _c , К	3400
5	Индекс цветопередачи Ra	96

чения (световой поток 1550 лм и светоотдача 95 лм/Вт с драйвером; 104 лм/Вт при питании от источника постоянного тока), которая может заменить лампы накаливания мощностью 100 Вт. Спектр практически повторяет спектр лампы накаливания, в которой в качестве излучателя применяется вольфрамовая нить, температура которой в рабочем состоянии может достигать 2600–3000 °С.

Использовать в качестве нити накаливания вольфрам предложил русский электротехник А.Н. Лодыгин еще в 90-х годах 19 века. В 1890 году он получил в США патент на электрические лампы накаливания с металлической нитью, но в 1906 году вынужден был продать за гроши свой патент вольфрамовой лампы компании General Electric. И вот почти век спустя в России изобретена полупроводниковая лампа со спектром излучения, который с точки зрения зрительной гигиены даже лучше, чем у лампы накаливания. Новая лампа также на порядок эффективнее по энергосбережению.

Учитывая особенности современного этапа развития «зеленых технологий» и стандартов для них, **Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН)** 19 июля 2017 года провела совещание при участии советника президента РААСН, представителя НИИСФ РААСН, генерального директора Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), заместителя директора Департамента гра-

достроительной деятельности и архитектуры Минстроя России и других экспертов, которые обсуждали следующие вопросы:

- создание безопасной световой среды в детских дошкольных и медицинских учреждениях;
- совершенствование существующей нормативно-технической базы по данному направлению.

В своем протоколе №02/ТП от 19 июля 2017 г. эксперты рабочей группы по безопасной эксплуатации зданий и сооружений, рекомендовали «при разработке нормативно технической документации учитывать отечественный и мировой опыт создания полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» [18].

Выводы

1. В России еще в 2010 году была разработана концепция создания полупроводниковых источни-

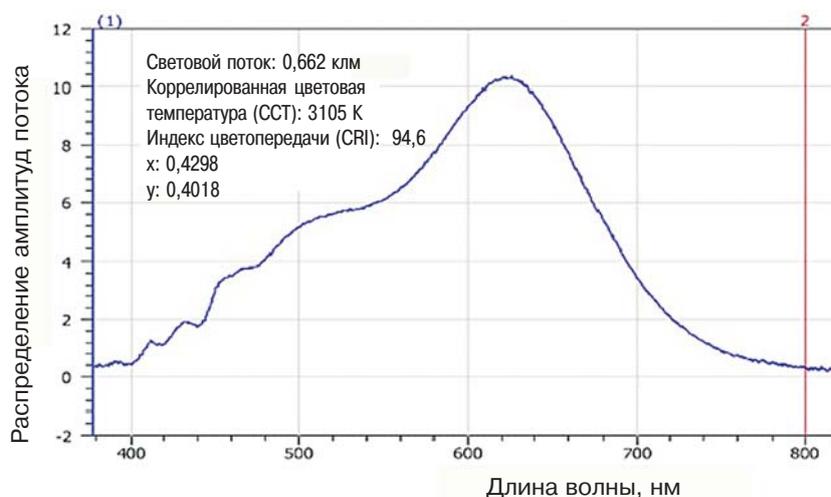


Рис. 4. Спектр света доработанной ретрофитной лампы ЗАО ЭЛТАН

ков белого света с биологически адекватным и непрерывным спектром излучения, приоритет которой закреплен патентами России, Китая, Японии, Индии и США. Эта концепция требует скорейшей промышленной реализации. Создание таких полупроводниковых источников белого света позволит эффективно решать в масштабах государства одновременно две задачи – **энергосбережения и создания безопасных и комфортных условий** для продолжительной работы с повышенными зрительными нагрузками.

2. На первом этапе создания оптимальной производственной и бытовой световой среды необходимо реализовать существующие разработки комплексированных полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения для их последующего масштабного промышленного производства.

Список литературы

1. Marshall J. The blue light paradox: problem or panacea // URL: <http://www.pointsdevue.com/article/blue-light-paradox-problem-or-panacea> (дата обращения 31.01.2018).
2. Капцов В.А., Дейнего В.Н., Уласюк В.Н., Ильина Е.Н., Светлова О.В., Гусева М.Г., Элембердиев М.Б., Кошиц И.Н. Две концепции развития полупроводниковых источников белого света для освещения школ. Аналитический обзор // Глаз. – 2017. – № 4. – С. 8–22.
3. Program of US Department of Energy, Solid State Lighting: «2017 Suggested Research Topics Supplement: Technology and Market Context» // URL: https://energy.gov/sites/prod/files/2017/09/f37/ssl_supplement_suggested-topics_sep2017_0.pdf (дата обращения 31.01.2018).
4. Program of US Department of Energy, Solid State Lighting: «Human Physiological Responses to Light Meeting Report» // URL: <https://energy.gov/eere/ssl/downloads/2016-human-physiological-responses-light-meeting-report> (дата обращения 31.01.2018).
5. Островский М. А. Фотобиологический парадокс зрения // Проблемы регуляции в биологических системах. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006.
6. 2016 Human Physiological Responses to Light Meeting Report // URL: https://energy.gov/sites/prod/files/2016/09/f33/ssl_humanresponse_sept2016.pdf (дата обращения 31.01.2018).
7. Боммель ван В. Спектр источников света и слабое освещение: некоторые основные положения // Светотехника. – 2009. – № 6. – С. 13–16.
8. Боммель ван В., Г. Бельд ван Д., Оойжен ван М. Промышленное освещение и производительность труда // Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 8–12.
9. Брейнард Г.К., Провенсио И. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 80.
10. Слайны Д.Х. Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей // Светотехника. – 2010. – № 4. – С. 64.
11. Островский М.А. Молекулярные механизмы повреждающего действия света на структуры глаза и системы защиты от такого повреждения // Успехи биологической химии. – 2005. – Т. 45. – С. 173–204.
12. Зак П.П., Егорова Т.С., Розенблюм Ю.З., Островский М.А. Спектральная коррекция зрения: научные основы и практические приложения. – М., 2005.
13. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Изменения в концепции построения светодиодов для освещения с учетом здоровья человека // Энергосовет. – 2015. – № 4.
14. Уласюк В.Н. Патент на изобретение RU2475887: Светодиодный источник белого света с удаленным отражательным многослойным фотолюминесцентным конвертером. Дата начала отсчета срока действия патента: 01.08.2011.
15. Капцов В.А. Дейнего В.Н. Гигиенические проблемы формирования оптимальной световой среды: доклад на Международном форуме Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды «Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека», посвященного 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина» Минздрава России. 15–16 декабря 2016 г.
16. Дейнего В.Н., Балашевич Л.И., Светлова О.В., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г., И.Н. Профилактика глазных заболеваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения // Российская детская офтальмология. – 2016. – № 2. – С. 57–73.
17. Список патентов:
Уласюк В.Н. Патент RU 2452059 «Светодиодный источник белого света с удаленным фотолюминесцентным отражающим конвертером» от 27.05.2012.
Уласюк В.Н. Патент RU 2457393 «Светодиодный источник белого света с удаленным фотолюминесцентным конвертером» от 27.07.2012.
Дейнего В.Н., Сошин Н.П., Уласюк В.Н. Патент RU 2502917 «Светодиодный источник белого света с комбинированным удаленным фотолюминесцентным конвертером» от 27.12.2013.
Ulasjuk V.N. White-light light-emitting diode lamp with a remote reflective photoluminescent converter, WO2013039418 (A1) – 2013-03-21, CN103348476 (B) – 2016-12-28, JP6045079 (B2) – 2016-12-14, US9136444 (B2) – 2015-09-15
Ulasjuk V.N. LED white light source with remote photoluminescent converter, WO2012112073 (A1) – 2012-08-23, CN103380327 (B) – 2016-03-02, JP5946228 (B2) – 2016-07-05, US9347622 (B2) – 2016-05-24, EP2677233 (B1) – 18-01-2017
Deynego V.N., Soschin N.P., Ulasjuk V.N. Light-emitting diode white-light source with a combined remote photoluminescent converter, WO2013100815 (A2) – 2013-07-04, WO2013100815 (A3) – 2013-09-26, CN104272014 (B) – 2016-08-24, JP6126624 (B2) – 2017-05-10
18. Протокол № 02/ТП от 19 июля 2017 г. Рабочей группы по безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Секция «Ресурсоэнергоэффективность, безопасность и экология» технической платформы «Строительство и архитектура» (ТПСА).

E-mail для связи с авторами: Дейнего Виталий Николаевич, vn-led@bk.ru.