

УДК 628.978; 628.938; 53.084.853

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ
ОСВЕТИТЕЛЬ****И.Г. Пальчикова^{1,2}, Е.В. Карамшук¹, Е.С. Смирнов¹,
Е.И. Пальчиков^{2,3}, М.С. Самойленко³**¹*Конструкторско-технологический институт научного
приборостроения СО РАН, 630058, г. Новосибирск*²*Новосибирский национальный исследовательский**государственный университет (НГУ) 630090, г. Новосибирск*³*Институт Гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090,
г. Новосибирск*

Обсуждаются особенности разработки многофункциональных полупроводниковых осветителей. Описаны конструкция и приведены характеристики экспериментального образца осветителя «Фотобокс 3138». Неравномерность освещенности на краях рабочего поля 300×300 мм не превышает 2 %. Конструкция включает белый светодиодный осветитель с цветовой температурой 5000 К (CIE D50) и высоким индексом цветопередачи (CRI 97+) и набор из шести независимо включаемых монохромных светодиодных осветителей в спектральном диапазоне от 365 до 880 нм. Цифровые изображения объектов, получаемые в «Фотобоксе 3138», пригодны для колориметрического, спектрального и мультиспектрального анализа.

Ключевые слова: светодиод, спектр излучения, белый свет, индекс цветопередачи, осветитель.

DOI: 10.17212/1727-2769-2020-3-62-74

Введение

Экспертные и аппаратные оценки цвета и цветовой разницы образцов широко применяются для определения состояния живописи [1, 2], для анализа состояния биологических объектов [3], контроля качества мясного сырья [4], для оперативного решения задач криминалистической экспертизы, выявления и характеристики следов выстрелов [5], дописок в документах [6], для измерения касательных напряжений поверхностного трения в аэродинамических установках с помощью тонкопленочных покрытий на основе холестерических жидких кристаллов [7] и для других специальных целей. Количественно цвет измеряется [8] тремя координатами в выбранном цветовом пространстве при источнике света с известной цветовой температурой (или спектром). Для решения каждой из перечисленных задач требуется осветительный прибор с заданными характеристиками, которые обычно не обеспечиваются стандартным фотооборудованием.

В частности, для технического обеспечения криминалистических исследований используются коммерческое осветительное оборудование и приборы для визуального осмотра объектов и выявления следов выстрелов в инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах спектра, такие как осветители «Свет-500», «ОЛД-41», более сложный электронно-оптический преобразователь «Рельеф-2» и др. В [9–11] задача выявления и анализа следов выстрелов решалась путем адаптации имеющегося оборудования. Однако эти приборы разработаны для

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-08-00874а.

решения задач технико-криминалистической экспертизы документов и их технические характеристики не обеспечивают потребностей экспертных исследований следов выстрелов, в частности колориметрических расчетов получаемых цифровых изображений. Специальные аналитические приборы технического обеспечения производства специальных видов судебных экспертиз [12], как правило, стационарные, с большими габаритными размерами, причем при анализе свойств объектов преимущественно используются разрушающие методы исследования.

С учетом вышесказанного создание специального осветительного прибора для обеспечения фото- и колориметрических методов исследования плоских и близких к плоским объектов является актуальным. Цель настоящей работы – анализ особенностей разработки автономного портативного осветительного прибора, конструкция которого позволяет использовать его не только в лабораторных, но и в «полевых» условиях; а также позволяет фотографировать плоские и близкие к плоским объекты размером до 300×300 мм с заданным расстоянием до объекта. Его эксплуатационные характеристики освещенности должны оставаться неизменными в течение длительного срока. Для количественного сравнения свойств разных участков исследуемого объекта необходимо соблюдение однородной освещенности по всему полю съемки. Как правило, используются два вида фото-съемки. Для колориметрического анализа цифровых изображений необходим белый осветитель с высоким индексом цветопередачи. Для спектрального анализа – набор осветителей с узкими спектральными полосами, перекрывающими участки электромагнитного спектра от УФ до ИК диапазона.

1. Описание устройства. Спектральные характеристики источников света

Фундаментальные подходы получения белого света с высоким индексом цветопередачи предполагают применение калиброванных источников [13], таких как серная лампа, лампа накаливания, галогенная лампа, люминесцентная лампа с пятикомпонентным люминофором, металлогалогенная лампа, которые в рассматриваемом случае не подходят по ряду причин. Это – малый срок стабильной службы, длительный выход на рабочий режим, сложность калибровок яркости от включения к включению, непортативность исполнения, высокое энергопотребление.

Наиболее соответствующими поставленной задаче являются светодиодные источники. Анализ современного рынка светоизлучающих диодов выявил, что практически все белые светодиоды имеют глубокий провал в спектре излучения в области 480 нм, связанный с разницей спектров возбуждающего люминесценцию фиолетового светодиодного чипа на основе гетеропереходов InGaN/AlGaIn и спектра излучения желтого люминофора на основе иттрий-алюминиевого граната YAG:Ce, нанесенного на чип. Если в спектре имеются провалы, то при колориметрическом анализе теряется информация о цвете объекта в участке, где присутствует провал. Именно по этой причине источники белого света на основе светодиодных систем из трех типов светодиодов RGB или стандартных белых светодиодов не обладают высоким индексом цветопередачи.

Поиски светодиодов с высоким качеством цветопередачи привели к новым SMD-светодиодам, разработанным японской компанией Toshiba Materials Co., Ltd. [14] по технологии под названием Tri-R и корейской компанией Seoul Semiconductor (SAWS0661A и STW9C2PB-S) [15]. В этих светодиодах кристалл покрывается трехкомпонентным люминофором, спектр которого смещен в коротковолновую область. Для них заявлены [14, 15] высокая равномерность спектра и

экстремально высокий индекс цветопередачи CRI: 97+. Разработанный прибор «Фотобокс 3138» строился на первых коммерческих образцах этих светодиодов двух типов: STW9C2PB-S с габаритами 3×3×0.65 мм мощностью до 0.2 Вт и SAWS0661A, с размерами основания 13.5×13.5 мм и мощностью до 6 Вт. Оба с цветовой температурой 5000 К.

На рис. 1 приведены спектры «теплого» и «холодного» белого света типичных источников. Спектр SMD-светодиода STW9C2PB-S показан на рис. 1 сплошной линией. Видно, что провал его спектральной кривой на 480 нм не превышает 30 % от максимума. Такая спектральная характеристика позволяет производить визуальные и точные количественные колориметрические измерения малых цветовых отличий.

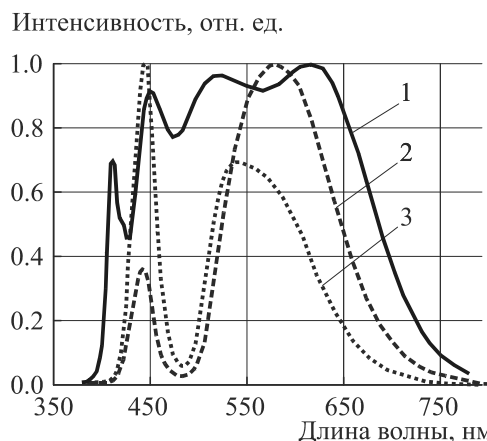


Рис. 1 – Спектры белого света, полученные экспериментально с помощью спектрометра «Колibri-2» (ООО «ВМК-Оптоэлектроника», Россия, Новосибирск):

линия 1 – спектр излучения SMD-светодиода STW9C2PB-S; линия 2 – спектр «теплого» белого света светодиодной осветительной панели LMPRS.Office Slim 15 315 LED lamp (Lampiris plant, Russia); линия 3 – спектр «холодного» белого света (Cree® J Series® 3030 LED)

Fig. 1 – White light spectra obtained experimentally using the “Kolibri-2” spectrometer (VMK-Optoelectronics LLC, Russia, Novosibirsk):

line 1 – the emission spectrum of STW9C2PB-S SMD LED; line 2 – spectrum of the “warm” white light of the LED lighting panel LMPRS.Office Slim 15 315 LED lamp (Lampiris plant, Russia); line 3 – spectrum of the “cold” white light (Cree® J Series® 3030 LED)

Для спектральных съемок в диапазоне от 365 до 880 нм выбраны шесть типов светодиодов, спектральные характеристики которых даны на рис. 2. В видимом диапазоне пики излучения приходятся на длины волн 458.1 нм, 523.1 нм, 594.1 нм, 630.6 нм (синий, зеленый, желтый, красный). Кроме осветителей видимого света, добавлен осветитель ближнего ультрафиолета с пиком излучения на длине волны 370 нм и инфракрасный – на 850 нм. Спектральные полосы светодиодов – узкие и практически не пересекаются. Это позволяет уверенно разделять

спектральные диапазоны при регистрации цифровых снимков. В случае ультрафиолетового осветителя можно проводить либо фотосъемку в УФ диапазоне, либо люминесцентную фотосъемку, используя соответствующий светофильтр перед объективом камеры.

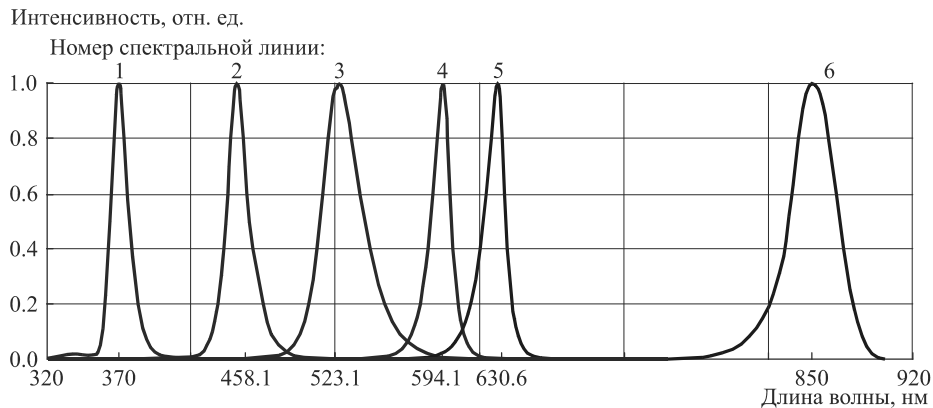


Рис. 2 – Спектральные характеристики светодиодов монохромных осветителей:

линия 1 – спектр осветителя УФ диапазона (светодиоды SST-10-UV-A130-E365); линия 2 – спектр синего осветителя (светодиоды XPEBRY-L1-0000-00K02); линия 3 – спектр зеленого осветителя (светодиоды XPEBGR-L1-0000-00C03); линия 4 – спектр желтого осветителя (светодиоды XPEBAM-L1-0000-00802CT); линия 5 – спектр красного осветителя (светодиоды XPEBRD-L1-0000-00502CT); линия 6 – спектр осветителя ИК диапазона (светодиоды SST-10-IR-B130-K850)

Fig. 2 – Spectral characteristics of monochrome LEDs:

line 1 – spectrum of the UV illuminator (LEDs SST-10-UV-A130-E365); line 2 – spectrum of the blue illuminator (LEDs XPEBRY L1 0000 00K02); line 3 – spectrum of the green illuminator (LEDs XPEBGR L1 0000 00C03); line 4 – spectrum of the yellow illuminator (XPEBAM-L1-0000-00802CT LEDs); line 5 – spectrum of the red illuminator (XPEBRD-L1-0000-00502CT LEDs); line 6 – spectrum of the IR illuminator (SST-10-IR-B130 LEDs-K850)

2. Описание устройства. Распределение освещенности по рабочему полю

Как для белого, так и для спектральнозонального осветителя необходимо получать однородную повторяемую диффузную засветку рабочего поля таким образом, чтобы в сквозном канале регистрации данных «рабочее поле – объектив – фото-матрица – цифровое изображение» не требовалось дополнительных преобразований по коррекции поля освещенности. Поэтому решалась задача оптимального расположения осветителей внутри рабочей камеры.

Выбор расположения осветителей, обеспечивающего равномерное освещение рабочего поля, провели численным моделированием с помощью пакета САПР МАТНСАD. На рис. 3, а показан ход лучей от двух точечных источников с силой света I_0 в расчетной одномерной задаче. Расчет освещенности в каждой точке рабочего поля выполнялся путем суммирования освещенностей от точечных источников, расположенных на ленточном осветителе, как показано на рис. 3, б. Из геометрического рассмотрения хода лучей очевидно, что для достижения оптимальной равномерности освещения рабочего поля осветители нужно удалять от объекта съемки, приближая наклонные лучи к оси поля зрения объектива, расположенного выше осветителя. С другой стороны, для удаления возможных бликов от объекта съемки на периферию снимка осветитель нужно по возможности приближать к объекту съемки и вводить вбок.

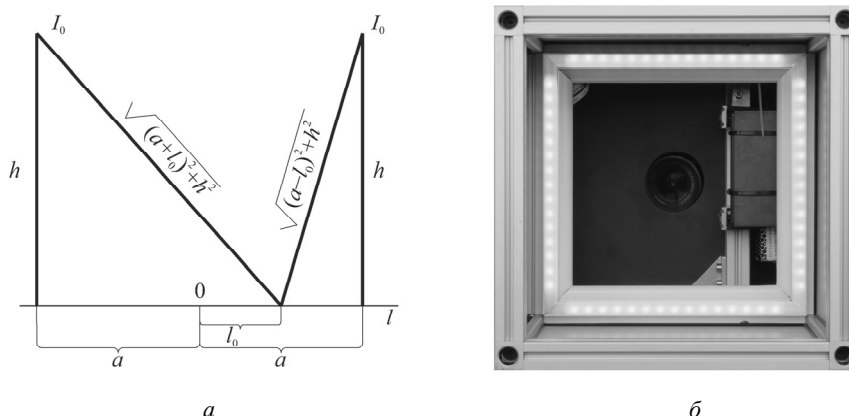


Рис. 3 – Расчет освещенности:

a – начальные условия для расчета освещенности: координатная ось *l* проходит через середину *O* рабочего поля, высота отстояния осветителя от рабочего поля – *h*, ширина рабочего поля – $2a$, сила света источника – I_0 ; *б* – вид на рамки осветителя со стороны объекта съемки (рабочего поля)

Fig. 3 – Calculation of a brightness:

a – Initial conditions for calculating the brightness: the coordinate axis *l* passes through the middle *O* of the working field, the height of the distance between the illuminator and the working field is *h*, the width of the working field is $2a$, the light intensity of the source is I_0 ; *b* – View of the frame of the illuminator from the side of the shooting object (working field)

В результате численного моделирования и экспериментальных проверок выбрана схема, в которой одиночный ленточный осветитель, состоящий из набора светодиодов, размещался на оптимальной высоте по периметру на боковых стенках камеры, как показано на рис. 3, б. При размере световой камеры $300 \times 300 \times 300$ мм и отстояния ленты осветителя от рабочего поля от 160 до 260 мм расчетная неравномерность освещенности на краях поля не превышает 2 %.

3. Описание устройства. Конструктивные решения

Фотография прибора «Фотобокс 3138» приведена на рис. 4. Корпус устройства построен на основе профиля Alumica 30×30 мм (ООО «СтройСнабКомплект», Тверь, Россия) и алюминиевых плоских панелей, вставленных в пазы профиля через уплотнитель [16, 17]. Конструкция имеет внутренний объем с основанием 302×302 мм, высотой 394 мм и надстройку высотой 124 мм и шириной 115 мм для крепления фотокамеры и размещения электронных схем.

60 SMD светодиодов марки STW9C2PB-S с цветовой температурой 5000 К (CIE D50) и CRI = 97+ смонтированы на специализированную ленту из полиимида длиной 1 м группами по 3 штуки последовательно с балластным резистором 120 Ом. Это обеспечивает ток светодиода около 30 мА и мощность примерно 100 мВт на каждый (6 Вт суммарно). Четыре отрезка ленты по 25 см вклеены в рамку специализированного алюминиевого профиля, служащего теплоотводом и закрыты матовым светорассеивающим нелюминесцирующим экраном из лавсановой пленки. Аналогично смонтированы рамки монохромных осветителей.

Рамки со светодиодными осветителями крепятся на высоте 250 мм от основания к стенкам по периметру. Выше светодиодов, внутри надстройки крепятся аккумулятор, блок питания, плата драйверов, плата заряда аккумулятора. На передней панели смонтирована панель переключателей осветителей с платой индикатора.

Ниже передней панели крепится откидная дверка, через которую происходит закладка объекта исследования. Дверки по периметру оклеены уплотняющим профилем для исключения паразитных засветок. На надстройке смонтирован угловой соединитель, к которому крепится штативный адаптер Base75 [18] фотокамеры.



Рис. 4 – Общий вид прибора «Фотобокс 3138». Одна из стенок рабочей камеры сделана откидной – для простоты работы с объектом фотосъемки. Сверху расположен блок крепления фотокамеры. По бокам корпуса расположены рукоятки для переноски и для позиционирования камеры при измерениях. На экране монитора – изображение тестовой пластины

Fig. 4 – Overview of the device "Photobox 3138". One of the walls of the working chamber is made of folding – for simplicity of the work with the object. Above is the camera attachment block. On the sides of the body there are folding handles for carrying and for positioning the camera during measurements. On the monitor screen – the image of the test plate

Применение семи разных типов осветителей потребовало создания автономного источника с семью независимыми, отдельно калибрующимися, стабильными источниками тока. Калибровки делаются однократно, регуляторами «под шлиц» внутри блока. Каждый из семи осветителей имеет свой независимый тумблер включения-выключения. Таким образом, можно выбирать самые разные схемы освещения. Встроенный аккумулятор позволяет работать автономно в течение 10 часов. Кроме того, прибор содержит сетевой блок питания и встроенный контроллер зарядки аккумулятора, что обеспечивает его многофункциональность.

Для совмещения центра поля зрения камеры с центром поля освещения применяется тестовая алюминиевая пластина, на которую помещается объект. Со стороны объекта на пластину нанесен рисунок мишени в виде концентрических окружностей диаметрами 50, 70.7, 100 мм и вписанных в них квадратов (рис. 4).

Внутренние стенки камеры могут быть черными, что реализует тип освещенности МКО «45/0», либо – белыми для типа освещенности МКО «дифф./0».

4. Рабочие характеристики

Для апробации и экспериментальной проверки характеристик изготовленного прибора «Фотобокс 3138» использовались малогабаритный многоканальный волоконный спектрометр «Колибри-2» (ООО «ВМК-Оптоэлектроника», Россия, Новосибирск) и камера Canon EOS 500D (Canon Inc., Japan) с объективом, обработка изображений выполнялась специализированным колориметрическим программным обеспечением ColorVideoTool [19] и Microsoft Excel.

Спектры светодиодов, показанные на рис. 1 и рис. 2, измерены в лаборатории с помощью спектрометра «Колибри-2» и практически не отличаются от заявленных изготовителями.

Однородность освещенности рабочего поля оценивалась по цифровым снимкам образца белого объекта, сделанных на линейном участке передаточной характеристики камеры [20], где яркость в каждом пикселе изображения пропорциональна освещенности. На рис. 5 приведены полиномиальные линии тренда экспериментальных данных для различного отстояния h белого осветителя от рабочего поля. Достоверность аппроксимации составила 0.97. Среднее значение СКО для $h = 160$ мм составляет 0.03 %, для $h = 210$ мм – 0.04 %, для $h = 260$ мм – 0.05 %. Увеличение h на 50 мм приводит к увеличению СКО на 0.01 %. В градациях яркости это соответствует 6...7 квантам младшего разряда 16-разрядного АЦП фотокамеры, т. е. находится на уровне шумов фотоматрицы.

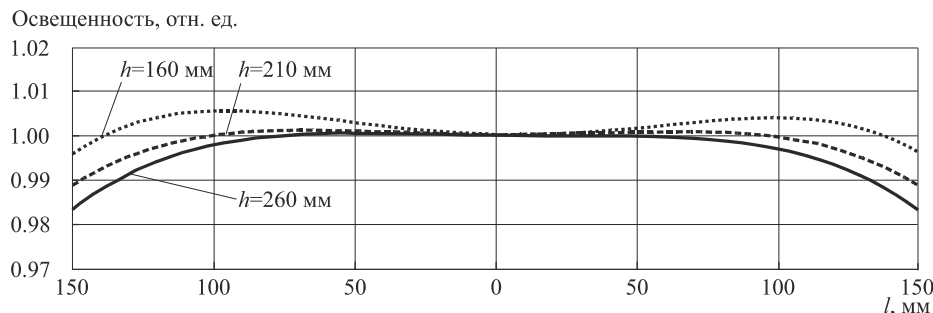


Рис. 5 – Экспериментально полученные графики распределения освещенности, нормированной на значение в центре рабочего поля вдоль оси l , проходящей через середину рабочего поля осветительной камеры для различного отстояния h осветителя от рабочего поля

Fig. 5 – Experimentally obtained graphs of the illumination distribution normalized to the value in the center of the working field along the l -axis passing through the middle of the working field of the lighting chamber for different distances h of the illuminator from the working field

По цифровым снимкам образца белого рассчитывались также цветовые координаты [8] осветителей. Расположение осветителей на диаграмме цветности CIE1931 $xу$ показано на рис. 6 треугольными маркерами. Маркеры цветовых координат, полученные при использовании нескольких осветителей, помечены номерами соответствующих осветителей через дефис. Доминирующие длины волн нанесены на локус круглыми маркерами, значения подписаны курсивом. Положение точки равноэнергетического источника обозначено литерой E . Квадратным маркером обозначена точка, лежащая на локусе Планка и наиболее близкая к точке E , она подписана значением температуры абсолютно черного тела в градусах Кельвина.

Осветительный прибор «Фотобокс 3138» имеет повторяемые в течение длительного срока эксплуатации характеристики освещенности, мгновенный выход на рабочий режим и следующие конструктивные характеристики: внешние габариты 446×362×630.5 мм; вес с фотокамерой не более 16.5 кг; рабочее поле 300×300 мм; падение освещенности на краях рабочего поля – в пределах 2 %.

Перечисленные характеристики позволяют использовать устройство для получения цифровых фотографий объектов, пригодных для колориметрического, спектрального и мультиспектрального анализа.

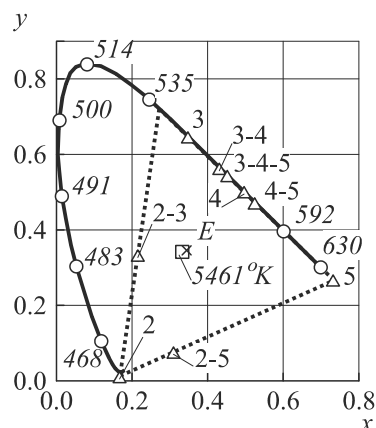


Рис. 6 – Расположение монохромных осветителей на диаграмме цветности CIE1931 xy:

маркер 2 обозначает источник синего света; маркер 3 – источник зеленого света; маркер 4 – источник желтого света; маркер 5 – источник красного света. Нумерация маркеров соответствует нумерации спектральных линий на рис. 2. По осям указаны значения безразмерных координат на плоскости xy

Fig. 6 – Location of monochrome illuminators on the CIE1931 xy chromaticity diagram:

marker 2 indicates the blue light source; marker 3 – the green light source; marker 4 – the yellow light source; marker 5 – the red light source. The numbering of markers corresponds to the numbering of the spectral lines in Fig. 2. The axes indicate the values of the coordinates at the xy plane

Экспериментальный образец осветительного прибора «Фотобокс 3138» был успешно апробирован [21] в ФГКОУ ВО «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации» при проведении колориметрического и мультиспектрального анализа фотографий мишеней и определения количественной цветовой разницы штрихов надписей на документах, выполненных различными красящими веществами, а также надписей, залитых краской.

Заключение

Показана возможность создания автономного портативного спектрального осветительного прибора с функцией белого света с высоким индексом цветопередачи на основе полупроводниковых светодиодов. Разработан экспериментальный образец осветительного прибора «Фотобокс 3138», который имеет мобильную конструкцию, что допускает его работу не только в лабораторных, но и «полевых» условиях. Прибор имеет осветительную камеру с рабочим полем 300 × 300 мм и площадкой для крепления цифровой фотокамеры с блендой.

Для колориметрического анализа цифровых изображений в приборе «Фотобокс 3138» создан белый осветитель с цветовой температурой 5000 K (CIE D50) и высоким индексом цветопередачи (CRI 97+).

Для спектрального и мультиспектрального анализа цифровых изображений в приборе «Фотобокс 3138» создан набор из шести независимо включаемых осветителей с узкими спектральными полосами в спектральном диапазоне от 365 до 880 нм (от УФ до ИК диапазона излучения).

Осветители дают равномерную освещенность без посторонних паразитных засветок на рабочем поле в различных спектральных диапазонах (падение освещенности на краях рабочего поля – менее 2 %).

Проведена успешная апробация «Фотобокса 3138» в ФГКОУ ВО «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации».

Разработанный осветительный прибор «Фотобокс 3138» может быть рекомендован к использованию в многопрофильных лабораториях для получения цифровых снимков объектов, пригодных для колориметрического анализа в белом свете, а также в монохроматическом или мультиспектральном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изменения цветности неорганических пигментов традиционной китайской живописи под воздействием узких спектральных линий четырех хроматических компонент светодиодов белого цвета / R. Dang, N. Wang, H. Tan, J. Wu // Оптический журнал. – 2019. – Т. 86, вып. 5. – С. 61–69.
2. **Martinez K., Cupitt J., Saunders D.** High resolution colorimetric imaging of paintings // Proceedings SPIE. – 1993. – Vol. 1901: Cameras, scanners, and image acquisition system / ed. by H.C. Marz, R.L. Nielsen. – P. 25–36.
3. **Шмидт В.** Оптическая спектроскопия для химиков и биологов. – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.
4. **Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Смирнов Е.С.** Оценка качества мяса птицы по анализу его цветовых характеристик // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21, спец. вып. 1. – С. 27–40.
5. Использование колориметрического метода для выявления следов выстрела в условиях их маскирования цветом поверхности объекта / И.В. Латышов, И.Г. Пальчикова, А.В. Кондаков, В.А. Васильев, Е.С. Смирнов // Судебная экспертиза. – 2018. – № 3 (55). – С. 25–35. – DOI: 10.25724/VAMVD.BPST.
6. **Барина О.А., Пальчикова И.Г.** Возможность цветового анализа красящих веществ при производстве технико-криминалистической экспертизы документов // Судебная экспертиза. – 2017. – № 4 (52). – С. 75–82.
7. Панорамная диагностика касательных напряжений на стенке канала с выступом с помощью жидких кристаллов / Г.М. Жаркова, В.Н. Коврижина, А.П. Петров, С.П. Подъячев // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т. 23, № 6. – С. 865–873.
8. **Judd D.B., Wyszecki G.W.** Color in business, science, and industry. – New York: John Wiley & Sons, 2003. – 576 p.
9. **Латышов И.В., Козлов М.О.** Применение сканеров при производстве судебно-баллистических экспертиз и исследований // Судебная экспертиза. – 2008. – № 1 (13). – С. 41–48.
10. Возможности исследования следов выстрела на преградах с использованием программы Adobe Photoshop / И.В. Латышов, М.О. Козлов, Е.В. Китаев, В.И. Фокин, В.Б. Барканов // Вестник Волгоградской академии МВД России. – 2009. – № 3 (10). – С. 151–158.
11. Возможность использования аппаратных ресурсов видеоспектрального компаратора «Docucenter Nirvis Projectina» при производстве судебно-баллистических исследований следов выстрела / И.В. Латышов, А.В. Кондаков, В.А. Васильев, М.Е. Пахомов // Судебная экспертиза: российский и международный опыт: сборник научных трудов II международной научно-практической конференции, Волгоград, 21–22 мая 2014 г. – Волгоград: ВА МВД России, 2014. – С. 181–185.
12. Актуальные проблемы разработки современных технических средств для криминалистического исследования следов выстрела / И.В. Латышов, И.Г. Пальчикова, А.В. Кондаков, В.А. Васильев, Е.С. Смирнов // Судебная экспертиза. – 2017. – № 4 (52). – С. 55–63.
13. ГОСТ 7721–89. Источники света для измерений цвета. Типы. Технические требования. Маркировка. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
14. Toshiba Materials Co., Ltd. TRI-R Technology. – URL: <https://www.toshiba-tmat.co.jp/en/tri-r/technology/> (accessed: 23.12.2020).
15. Seoul Semiconductor. SunLike STW9C2PB-S. Specification. Documentation. – URL: http://www.seoulsemicon.com/en/product/spec/_91_SunLike_92_%20STW9C2PB-S/31 (accessed: 23.12.2020).
16. **Карамшук Е.В.** Разработка конструкции фотобокса для криминалистического исследования следов выстрелов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XV международный научный

- конгресс, 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск: сборник материалов: в 9 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т. 8: Национальная конференция с международным участием «СибОптика-2019». – С. 286–291. – DOI: 2618-981X-2019-8-286-291.
17. Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2014: X международный научный конгресс, 08–18 апреля 2014 г., Новосибирск; Международная научная конференция «СибОптика-2014»: сборник материалов. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 5, № 1. – С. 128–134.
 18. Alumica™. Алюминиевый конструкционный станочный профиль: web-сайт. – URL: <http://alumica.ru/about> (дата обращения: 23.12.2020).
 19. Адаптер штативный Base 75 с быстрозъемной площадкой. – URL: <https://gbvideo.ru/catalog/shtativnyye-adaptery/adapter-shtativnyy-base-75-s-bystrosemnoy-ploshchadkoy/> (дата обращения: 23.12.2020).
 20. Компьютерная программа «Анализ цвета поверхности образцов биологической ткани ColourVideoTool»: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014615176 / Алейников А.Ф., Пальчикова И.Г., Чугуй Ю.В., Воробьев В.В., Макашев Ю.Д., Ярушин Т.В. – Зарег. 20.05.2014.
 21. Цветовой анализ цифровых изображений при производстве экспертных исследований следов выстрела / И.Г. Пальчикова, И.В. Латышов, А.В. Кондаков, В.А. Васильев, Е.С. Смирнов // Доклады АН ВШ РФ. – 2015. – № 2 (27). – С. 88–101. – DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-88-101.
 22. О количественной оценке малых цветовых различий на цифровых изображениях / И.Г. Пальчикова, Е.С. Смирнов, О.А. Барина, И.В. Латышов, В.А. Васильев, А.В. Кондаков // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 4. – С. 606–617. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-631.

MULTI-FUNCTIONAL SEMICONDUCTOR LIGHTING

**Palchikova I. G., Karamshuk E. V., Smirnov E. S.,
Palchikov E. I., Samoilenko M. S.**

¹*Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS,
Novosibirsk, Russia*

²*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia
e-mail: Palchikova@gmail.com*

Features of the development of the multifunctional semiconductor illuminators are discussed. The design and characteristics of the experimental model of the “Photobox 3138” illuminator are described. The lighting variation does not exceed 2 % at the edges of the working field of 300*300 mm. The design includes a white LED illuminator with a color temperature of 5000 K (CIE D50) and a high color rendering index (CRI 97+) and a set of six independently switched monochrome led illuminators in the spectral range from 365 to 880 nm. Digital images of objects obtained in “Photobox 3138” are of use to colorimetric, spectrozonal, and multispectral analysis.

Keywords: LED, emission spectrum, white light, color rendering index, lighting.

DOI: 10.17212/1727-2769-2020-3-62-74

REFERENCES

1. Dang R., Wang N., Tan H., Wu J. Chromaticity changes of inorganic pigments in traditional Chinese paintings due to narrowband spectra in four-primary white light-emitting-diodes. *Opticheskii zhurnal = Journal of Optical Technology*, 2019, vol. 86, iss. 5, pp. 61– 69. (In Russian).
2. Martinez K., Cupitt J., Saunders D. High resolution colorimetric imaging of paintings. *Proceedings SPIE*, 1993, vol. 1901. *Cameras, scanners, and image acquisition system*. Ed. by H.C. Marz, R.L. Nielsen, pp. 25–36.

3. Schmidt W. *Optical spectroscopy in chemistry and life sciences*. Weinheim, Wiley-VCH, 2005 (Russ. ed.: Shmidt V. *Opticheskaya spektroskopiya dlya khimikov i biologov*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007. 368 p.).
4. Aleynikov A.F., Palchikova I.G., Smirnov E.S. Otsenka kachestva myasa ptitsy po analizu ego tsvetovyykh kharakteristik [Evaluation of the poultry meat quality by analyzing its color characteristics]. *Vychislitel'nye tekhnologii = Computational Technologies*, 2016, vol. 21, iss. 1, pp. 27–40.
5. Latyshov I.V., Palchikova I.G., Kondakov A.V., Vasilev V.A., Smirnov E.S. Ispol'zovanie kolorimetriceskogo metoda dlya vyyavleniya sledov vystrela v usloviyakh ikh maskirovaniya tsvetom poverkhnosti ob'ekta [Application of colour method to identify fire shot traces, camouflaged by the colour of an object surface]. *Sudebnaya ekspertiza = Forensic Examination*, 2018, no. 3 (55), pp. 25–35. DOI: 10.25724/VAMVD.BPST.
6. Barinova O.A., Palchikova I.G. Vozmozhnost' tsvetovogo analiza krasnyashchikh veshchestv pri proizvodstve tekhniko-kriminalisticheskoi ekspertizy dokumentov [Discrimination analysis of pigments in the technical criminalistics examination of documents]. *Sudebnaya ekspertiza = Forensic Examination*, 2017, no. 4 (52), pp. 75–82.
7. Zharkova G.M., Kovrizhina V.N., Petrov A.P., Pod'yachev S.P. Panoramnaya diagnostika kasatel'nykh napryazhenii na stenke kanala s vystupom s pomoshch'yu zhidkikh kristallov [Panoramic diagnostics of tangential stresses on the channel wall with a protrusion using liquid crystals]. *Teplofizika i aeromekhanika = Thermophysics and Aeromechanics*, 2016, vol. 23, no. 6, pp. 865–873. (In Russian).
8. Judd D.B., Wyszecki G.W. *Color in business, science, and industry*. New York, John Wiley & Sons, 2003. 576 p.
9. Latyshov I.V., Kozlov M.O. Primenenie skanerov pri proizvodstve sudebno-ballisticheskikh ekspertiz i issledovaniy [The use of scanners in the production of forensic ballistics examinations and research]. *Sudebnaya ekspertiza = Forensic Examination*, 2008, no. 1 (13), pp. 41–48.
10. Latyshov I.V., Kozlov M.O., Kitaev E.V., Fokin V.I., Barkanov V.B. Vozmozhnosti issledovaniya sledov vystrela na pregradakh s ispol'zovaniem programmy Adobe Photoshop [Possibilities of gunshot traces examination on barriers with the help of Adobe Photoshop]. *Vestnik Volgogradskoi akademii MVD Rossii = Volgograd Academy of the Russian Internal Affairs Ministry's Digest*, 2009, no. 3 (10), pp. 151–158.
11. Latyshov I.V., Kondakov A.V., Vasilev V.A., Pakhomov M.E. [Applicability video spectrometer hardware «Docucenter Nirvis Projectina» in the production forensic ballistic studies of shot's tracks]. *Sudebnaya ekspertiza: rossiiskii i mezhdunarodnyi opyt: sbornik nauchnykh trudov 2 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Forensic examination: Russian and International experience: proceedings of the 2nd International Scientific-Practical Conference], Volgograd, May 21–22, 2014, pp. 181–185. (In Russian).
12. Latyshov I.V., Palchikova I.G., Kondakov A.V., Vasilev V.A., Smirnov E.S. Aktual'nye problemy razrabotki sovremennykh tekhnicheskikh sredstv dlya kriminalisticheskogo issledovaniya sledov vystrela [Actual problems of development of modern technical means for forensic investigation of shot traces]. *Sudebnaya ekspertiza = Forensic Examination*, 2017, no. 4 (52), pp. 55–63.
13. GOST 7721–89. *Istochniki sveta dlya izmerenii tsveta. Tipy. Tekhnicheskie trebovaniya. Markirovka* [State Standard 7721–89. Illuminants for colour measurements. Types. Technical requirements. Marking]. Moscow, Standards Publ., 1989.
14. *Toshiba Materials Co., Ltd. TRI-R Technology*. Available at: <https://www.toshibatmat.co.jp/en/tri-r/technology/> (accessed 23.12.2020).
15. *Seoul Semiconductor. SunLike STW9C2PB-S. Specification. Documentation*. Available at: http://www.seoulsemicon.com/en/product/spec/_91_SunLike_92_%20STW9C2PB-S/31 (accessed 23.12.2020).
16. Karamshuk E.V. [Development of photobox design for the criminalistics research of the shot tracks]. *Interexpo GEO-Sibir': XV mezhdunarodnyi nauchnyi congress*. T. 8. *Natsional'naya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem "SibOptika-2019"* [Interexpo GEO-Siberia–2014: XV International Scientific Congress. Vol. 8. International Science Conference "Siberian Optics-2019"], Novosibirsk, 24–26 of April, 2019, pp. 286–291. DOI: 2618-981X-2019-8-286-291. (In Russian).

17. Alumica™. *Aluminiumy konstruktivnyy stanochnyy profil* [Alumica™. Aluminum structural machine profile]: website. Available at: <http://alumica.ru/about> (accessed 23.12.2020).
18. *Adapter shtativnyi Base 75 s bystros"emnoi ploshchadkoi* [Tripod adapter Base 75]. Available at: <https://gbvideo.ru/catalog/shtativnye-adaptery/adapter-shtativnyy-base-75-s-bystrosemnoy-ploshchadkoy/> (accessed 23.12.2020).
19. Aleinikov A.F., Palchikova I.G., Chugui Yu.V., Vorob'ev V.V., Makashev Yu.D., Yarushin T.V. *Komp'yuternaya programma "Analiz tsveta poverkhnosti obraztsov biologicheskoi tkani ColourVideoTool"* [The computer program "Analysis of the color sample surface of biological tissue ColourVideoTool"]. The Certificate on official registration of the computer program. No. 2014615176, 2014. (In Russian, unpublished).
20. Palchikova I.G., Latyshov I.V., Vasilev V.A., Kondakov A.V., Smirnov E.S. Tsvetovoi analiz tsifrovyykh izobrazhenii pri proizvodstve ekspertnykh issledovaniy sledov vystrela [Color analysis of digital images in expert judgement of shot's trace]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 2 (27), pp. 88–101. DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-88-101.
21. Palchikova I.G., Smirnov E.S., Barinova O.A., Latyshov I.V., Vasiliev V.A., Kondakov A.V. O kolichestvennoi otsenke mal'kikh tsvetovykh razlichii na tsifrovyykh izobrazheniyakh [About quantifying small color differences in digital images]. *Komp'yuternaya optika = Computer Optics*, 2020, vol. 44, no. 4), pp. 606–617. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-631.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Пальчикова Ирина Георгиевна – родилась в 1954 г, окончила Новосибирский государственный университет в 1976 г. по специальностям «Физика» и «Прикладная математика». Доктор технических наук, доцент, профессор НГУ, заведующая лабораторией 1-3 в ФГБУН Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН и профессор кафедры «Общая физика» НГУ. Область научных интересов: лазерные информационные технологии, компьютерная оптика, компьютерное зрение. (Адрес: 630058, Россия, Новосибирск, ул. Русская, 41. E-mail: palchikova@gmail.com).

Palchikova Irina Georgievna (b. 1954) – graduated from the Novosibirsk State University in 1976, majoring in Physics and Applied Mathematics. She received her Doctor in Technical Science degree. Associated professor. Head of Laser Precision Technologies Laboratory of Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS, professor at NSU's General Physics sub department. Her leading research interests include laser information technologies, computer optics, computer vision. (Address: 41, Russkaya St., Novosibirsk, 630058, Russia. E-mail: palchikova@gmail.com).



Карамшук Елена Викторовна – родилась в 1964 г, окончила Новосибирский институт инженеров геодезии и картографии в 1988 г. по специальности «Оптическое приборостроение». Конструктор 1 категории в ФГБУН Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН. Область научных интересов: оптика, оптическое приборостроение. (Адрес: 630058, Россия, Новосибирск, ул. Русская, 41. E-mail: Elka-kti@yandex.ru).

Karamshuk Elena Victorovna (b. 1964) – graduated from the Novosibirsk Institute of Geodesy and Cartography Engineers in 1988 with a degree in Optical Instrumentation. Designer of Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS. Her research interests are currently focused on optical instrumentation. (Address: 41, Russkaya St., Novosibirsk, 630058, Russia. E-mail: Elka-kti@yandex.ru).



Смирнов Евгений Сергеевич – родился в 1985 г., окончил Сибирскую государственную геодезическую академию по специальности «Оптико-электронные приборы и системы» в 2010 г., аспирантуру НГУ по специальности «Оптика». Является научным сотрудником в ФГБУН Конструкторско-технологического института научного приборостроения СО РАН. Область научных интересов: оптика, специальные методы обработки цифровых изображений. (Адрес: 630058, Россия, Новосибирск, ул. Русская, 41. E-mail: the-first-person@yandex.ru).

Smirnov Evgenii Sergeevich (b. 1985), graduated from the Siberian State Academy of Geodesy in 2010, majoring in Optoelectronic Devices and Systems, postgraduate student of NSU in Optics. Researcher at the Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS. Research interests are optics, special processing of digital images. (Address: 41, Russkaya St., Novosibirsk, 630058, Russia. E-mail: the-first-person@yandex.ru).



Пальчиков Евгений Иванович – родился в 1949 г., окончил Новосибирский государственный университет в 1976 г. по специальности «Физика», доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник в ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН и профессор кафедры «Общая физика» НГУ. Область научных интересов: импульсная электрофизика, регистрация быстропротекающих процессов. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15. E-mail: Palchikov@academ.org).

Palchikov Eugeny Ivanovich (b. 1949) – graduated from Novosibirsk State University in 1971, majoring in Physics and Applied Mathematics. He received her Doctor in Technical Science degree. Associated professor. Key researcher Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, professor at NSU's General Physics sub department. His research interests are currently focused on pulsed electrophysics, registration of fast processes. (Address: 15, Lavrenteva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: Palchikov@academ.org).

Самойленко Михаил Сергеевич – родился в 1977 г., окончил Новосибирский государственный технический университет в 2000 г. по специальности «Радиотехника». Инженер-электроник в ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Область научных интересов: системы автоматизации и управления процессами, радиофизика. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15. E-mail: saguru@inbox.ru).

Samoylenko Mikhail Sergeevich (b. 1977) – graduated from Novosibirsk State Technical University in 2000 majoring in Radiotechnics. Electronics Engineer at Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS. His research interests are currently focused on automation and process control systems, radiophysics. (Address: 15, Lavrenteva Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: saguru@inbox.ru).

Статья поступила 20 мая 2020 г.
Received may 20, 2020

To Reference:

Palchikova I.G., Karamshuk E.V., Smirnov E.S., Palchikov E.I., Samoylenko M.S. Multifunctional'nyi poluprovodnikovyyi osvetitel' [Multi-functional semiconductor lighting]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2020, no. 3 (48), pp. 62-74. DOI: 10.17212/1727-2769-2020-3-62-74.