

УДК 535.24

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ И СИЛЫ СВЕТА СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

С.В. НИКОНЕНКО, Е.В. ЛУЦЕНКО, В.З. ЗУБЕЛЕВИЧ, Н.В. РЖЕУЦКИЙ,
В.А. ЖДАНОВСКИЙ, А.В. ДАНИЛЬЧИК, Г.П. ЯБЛОНСКИЙ, В.А. ДЛУГУНОВИЧ

*Институт физики НАН Беларуси
пр. Независимости, 68, Минск, 220072, Беларусь*

Поступила в редакцию 14 апреля 2011

Создана установка для измерения пространственного распределения интенсивности излучения лазерных и светодиодов, светодиодных осветителей, а также усредненной силы света светодиодов. Диапазон углов поворота в двух перпендикулярных плоскостях ± 110 градусов. Установленные метрологические характеристики: диапазон измерения усредненной силы света светодиодов и силы света светодиодных осветителей от 0,01 до 60 кд; диапазон измерения плотности мощности лазерного и светодиодного излучения от 300 нВт/см² до 300 мВт/см² в спектральном интервале от 350 до 1100 нм.

Ключевые слова: светодиод, лазерный диод, сила света, усредненная сила света, плотность мощности лазерного излучения, пространственное распределение.

Введение

В последние два десятилетия достигнут существенный прогресс в разработке твердотельных источников излучения, и в первую очередь это относится к лазерным (ЛД) и светоизлучающим диодам (СИД). Качество и безопасность созданных на основе ЛД и СИД изделий во многом, определяются точностью измерения их характеристик. Наиболее неблагоприятными факторами, влияющими на качество, являются: разброс оптических и электрических свойств в партии СИД и ЛД, их зависимость от температуры и деградация со временем [1]. Кроме того, производители светодиодов заявляют цветовые и фотометрические характеристики, полученные при импульсном возбуждении, когда перегрев активной области светодиода мал, и поэтому заявленные характеристики имеют существенное отличие от характеристик светодиодов в реальных режимах эксплуатации. Например, деградация СИД в светофорах приводит к изменению осевой силы света и углового распределения излучения, что вызывает ухудшение восприятия сигнала водителем и влияет на безопасность движения. Поэтому продукция на основе ЛД и СИД подлежит сертификации, проведение которой, согласно требований международных стандартов ИСО серии 9000, предусматривает контроль качества продукции с помощью средств измерений, откалиброванных стандартизованными методами на национальной эталонной базе. До начала 2011 г. в Беларуси не было возможности измерения пространственного распределения силы света и плотности мощности излучения СИД и ЛД, а также усредненной силы света СИД в аккредитованных калибровочных и испытательных лабораториях [2].

Измерение усредненной силы света и пространственного распределения интенсивности излучения ЛД и СИД

Хотя СИД и ЛД относятся к твердотельным источникам излучения, стандартизованные методы измерения характеристик и параметров их излучения имеют существенные отличия. В международной метрологической практике основным документом, в котором определены фо-

тометрические и радиометрические величины, характеризующие СИД и методы их измерений, является рекомендация Международной комиссии по освещению (МКО) [3]. Для лазерной техники в настоящее время в Беларуси действуют национальные стандарты, гармонизированные с международными требованиями, однако в них не в полной мере учитываются особенности полупроводниковых лазеров с большой расходимостью излучения. Например, в стандартах [4–7] методы измерения пространственных характеристик лазерного излучения устанавливают требования только для лазерного излучения с углом расходимости менее 30 мрад, в то время как углы расходимости излучения полупроводниковых лазеров составляют от 1° до 90°.

Как правило, СИД не является точечным источником излучения, поскольку измерение фотометрических и радиометрических величин проводится обычно на относительно небольших расстояниях (ближне-полевое условие). Кроме того, как первичные, так и вторичные оптические компоненты СИД оказывают существенное влияние на пространственное и спектральное перераспределение излучения. Так как универсальной геометрии измерений, применимой к большому числу типов СИД, не существует, то их корректное сравнение является проблемой. Для разрешения этой проблемы МКО рекомендовало новую характеристику излучения СИД, называемую усредненной силой света или усредненной энергетической силой света, которая определяется как сила света в стандартных условиях А и В. Оба условия включают использование приемника с круговой апертурной диафрагмой площадью 100 мм² (диаметр 11,3 мм). Расстояние от СИД до плоскости апертурной диафрагмы фотометра или радиометра для условия А составляет 316 мм, для условия В – 100 мм, что соответствует телесному углу 0,001 ср для условия А, и 0,01 ср для условия В. Соответствующие плоские углы равны 2° и 6,5°.

Измерение фотометрических и радиометрических величин, согласно [3], можно проводить методами, реализующими как детекторный, так и излучательный подход. При излучательном подходе СИД, используемые в качестве эталонных, должны иметь пространственное и спектральное распределения излучения, подобное испытываемому СИД. Кроме того, у эталонного СИД пространственное распределение силы света в пределах ± 10° от оси должно быть гладким и примерно постоянным. Если спектральные условия не соблюдаются, то рекомендуется проводить коррекцию результатов измерений на спектральное рассогласование СИД. В [3] отмечается, что для испытания различных типов СИД нужно иметь такое же количество типов эталонных СИД, что является крайне затратным.

В настоящее время в ведущих национальных метрологических центрах в области оптической радиометрии применяют метод детекторного подхода при создании эталонов и системы обеспечения единства измерений. То есть передача размеров единиц осуществляется с помощью эталонов сравнения – детекторов. Для реализации детекторного подхода при измерении характеристик излучения СИД следует применять калиброванный фотометр с индексом спектрального рассогласования f_1 не хуже 3% [3]. Тогда усредненную силу света светодиода для условия МКО А (или В), в канделах, можно определить по формуле:

$$I_{LED_{A(B)}} = E_{A(B)} \cdot l_{A(B)}^2, \quad (1)$$

где $l_{A(B)}$ – расстояние, соответствующее стандартным условиям МКО А или В, м; $E_{A(B)}$ – освещенность, измеренная фотометром при стандартных условиях МКО А или В, лк.

При измерении пространственного распределения силы света $I_{LED \nu}$ с помощью гониофотометрического метода, в котором $I_{LED \nu}$ рассчитывается по формуле, подобной (1), расстояние между фотометром и СИД должно быть как можно большим [3], чтобы СИД можно было считать точечным источником. Данный метод позволяет также измерить и пространственное распределение плотности мощности излучения ЛД и СИД, при использовании калиброванного радиометра. Плотность мощности ЛИ E_{σ} в этом случае рассчитывают по формуле

$$E_{\sigma} = \bar{P} / \sigma, \quad (2)$$

где \bar{P} – среднее арифметическое значение мощности излучения, Вт; σ – площадь диафрагмы, м².

Установка «Простор ЛД-СИД»

Установка «Простор ЛД-СИД» состоит из гониометрической системы, фотометрического блока (включающего в себя как фотометр, так и радиометр), блока системы питания, контроля температуры ЛД и СИД. Блок-схема установки приведена на рис. 1.

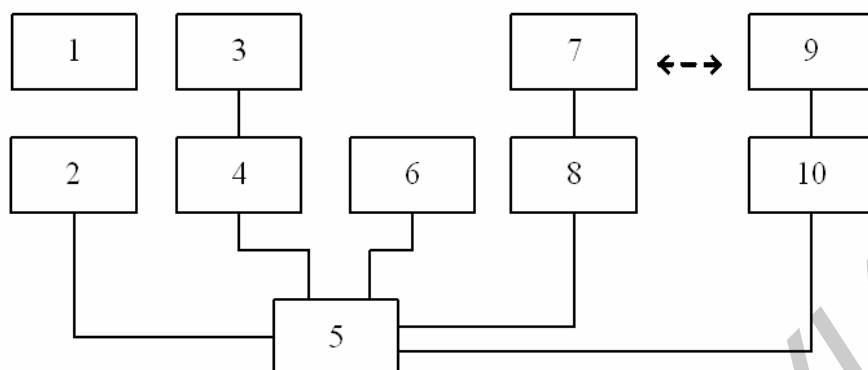


Рис. 1. Блок-схема установки Простор ЛД-СИД: 1 – система юстировки; 2 – система термостабилизации; 3 – испытуемый; лазерный и светодиодный излучатель; 4 – система питания для лазерных и светодиодных излучателей; 5 – персональный компьютер; 6 – гониометрическая система; 7 – фотометрическая головка; 8 – цифровой блок фотометра; 9 – фотодиодная головка; 10 – цифровой мультиметр

Установка функционирует в трех режимах: измерение усредненной силы света СИД; измерение пространственного распределения силы света СИД и СИД осветителей; измерение пространственного распределения плотности мощности ЛД и СИД. Все режимы основаны на детекторном подходе измерения фотометрических и радиометрических величин, как описано ранее.

Порядок функционирования установки следующий. Лазерный или светодиодный излучатель 3 устанавливают в гониометрическую систему 6 на соответствующий держатель. Юстируют положение центра источника излучения и центра фоточувствительной плоскости фотометрической 7 или радиометрической 9 головок с помощью системы юстировки 1. Применяя набор концевых мер, устанавливают требуемое расстояние. Затем с помощью системы питания 4 для лазерных или светодиодных излучателей и системы термостабилизации 2 устанавливают необходимый режим питания источников излучения. Сигналы фотоприемников через цифровой блок фотометра 8 или цифровой вольтметр 10 подаются на персональный компьютер 5, с помощью которого выполняется обработка сигналов, а также управление системой питания излучателей, системой термостабилизации и гониометрической системой. Программное обеспечение позволяет активировать используемые приборы, осуществлять управление измерениями, регистрацию и предварительную обработку данных. Полученные результаты измерений сохраняются в файл и отображаются на компьютере в численном виде, а для пространственного распределения силы света СИД и плотности мощности излучения ЛД возможно и представление в графическом виде (см. рис. 2).

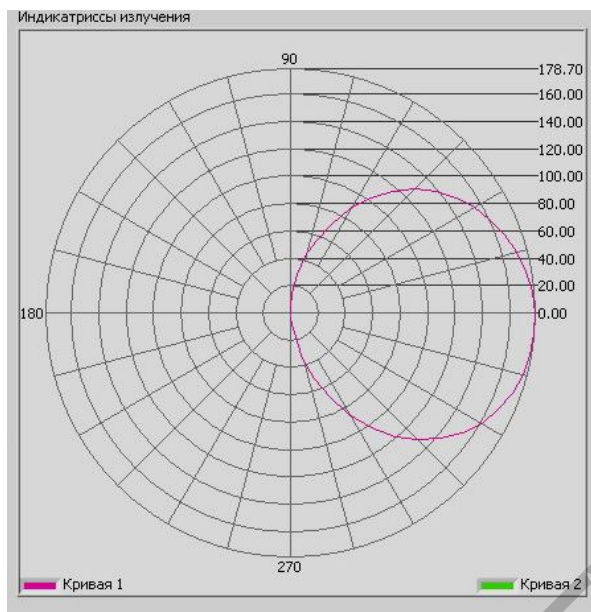


Рис. 2. Пространственное распределение силы света белого светодиода LUXEON® Rebel ES LXML-PWN2

Обработка результатов измерения

Обработка результатов измерения осуществляется в следующем образом. В начале рассчитывается по известным формулам среднее арифметическое значение \bar{X} оцениваемой величины X и относительное среднее квадратическое отклонение $s^\circ(\bar{X})$. Затем определяется относительная суммарная стандартная неопределенность измерений.

Относительную суммарную стандартную неопределенность измерений освещенности $u^\circ_c(E_{A(B)})$ при условиях МКО А (или В) рассчитывают по формуле

$$u^\circ_c(E_{A(B)}) = \sqrt{[u^\circ(\bar{E}_{A(B)})]^2 + [u^\circ_{\text{кал}}(E)]^2} \% \quad (3)$$

где $u^\circ(\bar{E}_{A(B)})$ – относительная стандартная неопределенность измерения освещенности в условиях А и В, %; $u^\circ_{\text{кал}}(E)$ – относительная стандартная неопределенность измерения освещенности фотометра. $u^\circ_{\text{кал}}(E) = U/k$, где $U = 0,8$; k – коэффициент охвата.

Относительную суммарную стандартную неопределенность определения усредненной силы света $u^\circ_c(I_{\text{LED A(B)}})$ при условии МКО А (или В) рассчитывают по формуле

$$u^\circ_c(I_{\text{LED A(B)}}) = \sqrt{[u^\circ_c(E_{A(B)})]^2 + [2u^\circ_l]^2} \% \quad (4)$$

где u°_l – относительная стандартная неопределенность измерения расстояния с помощью концевых мер согласно сертификату об их калибровке.

Относительную суммарную стандартную неопределенность измерений освещенности $u^\circ_c(E_v)$ и силы света $u^\circ_c(I_v)$ вычисляют по формулам аналогичным (3, 4) заменив индексы LED A(B) и A(B) на v.

Относительную стандартную неопределенность $u^\circ_c(P)$ измерения мощности излучения вычисляют по формуле

$$u^\circ_c(P) = \sqrt{[u^\circ(\bar{P})]^2 + [u^\circ_{\text{кал}}(K)]^2} \% \quad (5)$$

где $u^\circ(\bar{P})$ – относительная стандартная неопределенность измерений мощности излучения, %; $u^\circ_{\text{кал}}(K)$ – относительная стандартная неопределенность калибровочного коэффициента радиометра, приведенная в свидетельстве о калибровке, %. Относительную суммарную стандартную неопределенность измерений плотности мощности на установке оценивают по формуле

$$u^\circ_c(E_\sigma) = \sqrt{[u^\circ(\bar{P})]^2 + [u^\circ_{\text{кал}}(K)]^2 + u^\circ(\sigma)^2} \% \quad (6)$$

где $u^\circ(\sigma)$ – относительная стандартная неопределенность определения площади диафрагмы фотодиодной головки, %.

Относительную суммарную стандартную неопределенность измерений пространственного распределения силы света на установке оценивают по формуле

$$u^\circ_c(I_{\varphi,\theta}) = \sqrt{[u^\circ_c(E_v)]^2 + [2u^\circ_l]^2 + [u^\circ(\varphi)]^2 + [u^\circ(\theta)]^2} \% \quad (7)$$

где $u^\circ(\varphi)$ и $u^\circ(\theta)$ – относительные стандартные неопределенности измерений углов поворота поворотных площадок, %. Относительную суммарную стандартную неопределенность измерений пространственного распределения плотности мощности излучения оценивают по формуле

$$u^\circ_{c,\varphi,\theta}(E_\sigma) = \sqrt{[u^\circ(\bar{P})]^2 + [u^\circ_{\text{кал}}(K)]^2 + [u^\circ(\sigma)]^2 + [u^\circ(\varphi)]^2 + [u^\circ(\theta)]^2} \% \quad (8)$$

Результаты и их обсуждение

При проведении метрологической аттестации установки «ПРОСТОР ЛД-СИД» были установлены следующие основные метрологические характеристики:

- диапазон измерения силы света и усредненной силы света от 0,01 до 60 кд;
- относительная расширенная неопределенность измерения усредненной силы света ($k=2$), для условий МКО А (или В) составляет соответственно $U_{I_{\text{LED A}}} = 2,0 \%$, $U_{I_{\text{LED B}}} = 1,4 \%$, измерения силы света ($k=2$), $U_{I_v} = 1,2 \%$;
- спектральный диапазон измерения мощности излучения от 350 до 1100 нм;
- относительная расширенная неопределенность ($k=2$) измерений плотности мощности лазерного излучения в диапазоне от 300 мкВт до 300 мВт $U_{E_\sigma} = 3,4 \%$, в диапазоне от 300 нВт до 30 мкВт $U_{E_\sigma} = 9,2 \%$;
- диапазон воспроизведения угла поворота поворотных площадок от -110° до $+110^\circ$;
- относительная расширенная неопределенность ($k=2$) воспроизведения угла поворота поворотных площадок $U_{\varphi,\theta} = 0,08 \%$;
- относительная суммарная стандартная неопределенность измерений пространственного распределения силы света $U_{I_{\varphi,\theta}} = 1,04 \%$;
- относительная расширенная неопределенность измерений пространственного распределения плотности мощности излучения в диапазоне от 300 мкВт до 300 мВт $U_{E_{\sigma,\varphi,\theta}} = 3,4 \%$, в диапазоне от 300 нВт до 30 мкВт $U_{E_{\sigma,\varphi,\theta}} = 9,2 \%$.

Заключение

Создана установка для измерения пространственного распределения интенсивности излучения лазерных и светодиодов, светодиодных осветителей, а также усредненной силу света светодиодов. Диапазон углов поворота в двух перпендикулярных плоскостях ± 110 градусов. Установленные метрологические характеристики: диапазон измерения усредненной силы света светодиодов и силы света светодиодных осветителей от 0,01 до 60 кд; диапазон измерения

плотности мощности лазерного и светодиодного излучения от 300 нВт/см² до 300 мВт/см² в спектральном интервале от 350 до 1100 нм.

SET-UP FOR THE MEASUREMENT OF SPATIAL DISTRIBUTION OF THE LASER DIODES RADIATION AND THE LUMINOUS INTENSITY OF LEDS AND LED-LIGHTING

S.V. NIKANENKA, E.V. LUTSENKO, V.Z. ZUBIALEVICH, M.V. RZHEUTSKII,
V.A. ZHDANOVSKII, A.V. DANILCHYK, G.P. YABLONSKII, V.A. DLUGUNOVICH

Abstract

Set-up for the measurement of spatial distribution of the laser diodes radiation and the luminous intensity of LEDs and LED-lighting, as well as the average luminous intensity of LEDs was constructed. The range of rotation angles in two perpendicular planes is ± 110 degrees. The range of averaged intensity of LEDs and LED lighting intensity is from 0,01 to 60 cd. The measurement range of the laser and LEDs radiation power density is from 300 nW/cm² to 300 mW/cm² at the wavelength from 350 to 1100 nm.

Литература

1. *Bürmen M.* // Meas. Sci. Technol. 2008. Vol. 19, №12. P. 122002.
2. CIE 127:2007 Technical report CIE. Measurement of LEDs. 2nd edition Publication. 2007.
3. *Гальго А.В.* // Приборы и методы измерений. 2010. №1. С. 131–140.
4. СТБ ИСО 13694-2004. Оптика и оптические приборы. Лазеры и относящиеся к лазерам оборудование. Методы испытаний распределения плотности мощности (энергии) лазерного излучения.
5. СТБ ИСО 11146-1-2006. Лазеры и относящиеся к лазерам оборудование. Методы испытаний для определения ширины, углов расходимости и параметров качества пучка. Часть 1. Стигматические пучки и пучки с простым астигматизмом.
6. СТБ ИСО 11146-2-2006. Лазеры и относящиеся к лазерам оборудование. Методы испытаний для определения ширины, углов расходимости и параметров качества пучка. Часть 2. Пучки с общим астигматизмом.
7. СТБ ИСО 11146-3-2006. Лазеры и относящиеся к лазерам оборудование. Методы испытаний для определения ширины, углов расходимости и параметров качества пучка. Часть 3. Собственная и геометрическая классификация лазерных пучков, преобразование и методы испытаний.