

# Измерение светового потока светодиодов

О.В. КРУГЛОЕ, В.Н. КУЗЬМИН, К.А. ТОМСКИЙ<sup>1</sup>

ООО «НТП «ТКА», Санкт-Петербург

## Аннотация

Рассмотрена специфика двух существенно разных методов измерения светового потока источников света со сложным пространственным светораспределением: гониометрического и «интегрирующей сферы».

Отмечено, что измерения светового потока источников света гониометрическим методом, считаясь перспективными по точности и «информативности», требуют серьёзных затрат времени.

Метод «интегрирующей сферы» позволяет проводить измерения светового потока источников света с произвольным светораспределением в пространстве на порядки быстрее, чем гониометрический метод.

При использовании в качестве регистрирующего устройства спектрофотокориметра «ТКА-ВД» для определения цветовых характеристик источников света появляется возможность одновременно получать данные о спектральном составе, цветовых характеристиках и световом потоке светодиодов

Ключевые слова: световой поток, светодиоды, гониофотометрический метод, метод «интегрирующей сферы».

В результате успехов в производстве светодиодов (СД) они продолжают вытеснять «традиционные» источ-

ники света (ИС), такие как большинство ламп накаливания и разрядных.

Важным параметром СД является его световой поток. Измерения этого параметра, часто приводимого в спецификациях на СД, мы и коснёмся.

При этом необходимо отметить, что пространственное светораспределение СД может принимать самый причудливый вид (рис. 1), и эта особенность учитывалась нами в выборе пути построения приборов для измерения светового потока СД.

Известны два существенно различных метода измерения этого параметра: гониометрический и «интегрирующей сферы».

Гониометрический метод основан на пошаговой фиксации значений силы света СД при его повороте на известный угол на каждом шаге. Используемые для этих целей приборы - гониометр с достаточным угловым разрешением и фотометрическая головка с известным коэффициентом преобразования. Точность измерений светового потока и светораспределения СД с уменьшением шага углов поворота (полярного и азимутального) СД относительно фотометрической головки (или наоборот) возрастает. У современных гониофотометрических установок указанный шаг составляет несколько угловых минут. При этом выполняются измерения пространственного распределения силы света СД, по которому известным образом (см., напр., [1, с. 23-25; 2]) рассчитывается световой поток СД.

Считается, что измерение этого параметра СД гониометрическим методом, хотя и перспективно по точности и «информативности», но требует серьёзных затрат времени.

Поэтому в дальнейшем нами был взят за основу второй метод определения  $\Phi$  - метод «интегрирующей сферы» (см., напр., [3]). В нём сопоставляется неизвестный (измеряемый) световой поток с заведомо известным световым потоком эталонного осесимметричного ИС. Этот метод позволяет измерять световой поток ИС с произвольным светораспределением на порядки быстрее, чем гониометрический.

Указанное сопоставление производится посредством интегрирующей сферы (иначе - фотометрический шар или шар Ульбрихта) достаточно большого диаметра, окрашенной внутри матовой белой краской с ламбертовским диффузным отражением.

Теоретически [3, 4], световой поток, рассеиваемый внутренней поверхностью (ВП) этой сферы, распределяется по ней весьма равномерно. И если в полость сферы, ВП которой всюду имеет одинаковый коэффициент отражения  $\rho$ , поместить ИС  $S$  со световым потоком  $\Phi$ , то отражённый от ВП световой поток  $\rho\Phi$  создаст во всех точках ВП одинаковую освещённость

$$E_1 = \rho\Phi / (4\pi r^2),$$

где  $r$  - радиус ВП интегрирующей сферы.

Вторично отражённый световой поток  $\rho^2\Phi$  тоже равномерно распределится по ВП сферы, и дополнительная освещённость на ней  $E_2$  выразится как

$$E_2 = \rho^2\Phi / (4\pi r^2),$$

и т. д. до бесконечности.

Результирующая освещённость на ВП интегрирующей сферы в некоторой точке  $M$  равна

$$E_s + \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi r^2},$$

где  $E_s$  - освещённость в указанной точке  $M$  непосредственно от ИС  $S$ . Очевидно, что  $E_s$  зависит как от поло-

E-mail: tka@mail.dux.ru

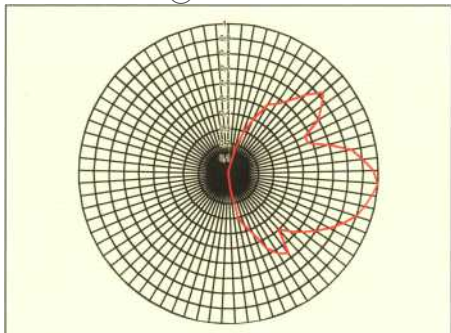


Рис. 1. Пример асимметричной кривой силы света светодиода

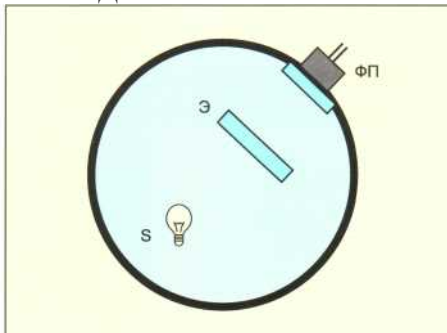


Рис. 2. Измерение светового потока с помощью интегрирующей сферы



Рис. 3. Внешний вид опытного образца прибора «ТКА - ККТ», предназначенного для измерения светового потока светодиодов

жения ИС  $S$  в полости сферы, так и от его светораспределения.

Если же малым непрозрачным экраном Э (рис. 2) защитить малый участок ВП с точкой  $M$  на нём от попадания света непосредственно от ИС  $S$ , то освещённость  $E$  на этом участке составит

$$\frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi r^2} = \alpha\Phi,$$

где  $\alpha$  - коэффициент, зависящий только от свойств шара.

Поэтому если ИС  $S$  с измеряемым световым потоком  $\Phi$  заменить на эталонный ИС  $S_0$  с известным световым потоком  $\Phi_0$ , то очевидно, освещённость ВП сферы в точке  $M$  ( $E_0$ ) выразится как

$$E_0 = \alpha\Phi_0, \quad \Phi = \Phi_0 E / E_0. \quad (1)$$

И определив тем или иным способом отношение  $E/E_0$ , получим измеряемый световой поток  $\Phi$  интересующего ИС  $S$ .

В связи с тем, что излучение СД направленное, возможно упрощение конструкции приборов с интегрирующей сферой путём установки измеряемых СД в стенке сферы. Это уменьшает количество элементов конструкции сферы, а следовательно, и её геометрические размеры. Сфера выполняется с двумя отверстиями. За первым устанавливается фотодиод с молочным стеклом и набором корриги-

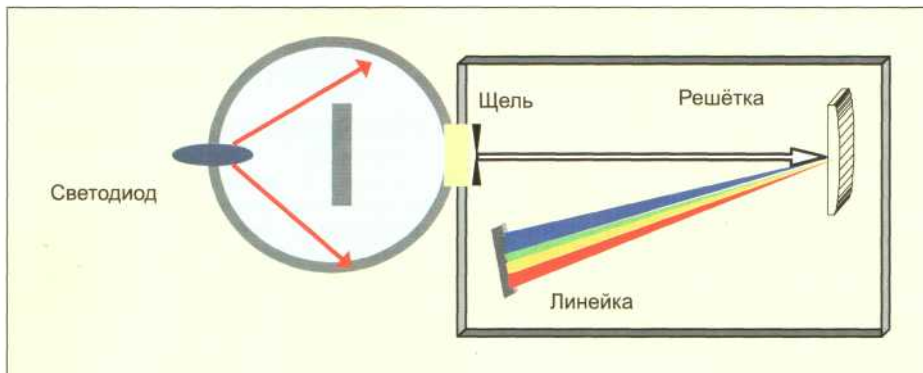


Рис. 4. Оптическая схема прибора для измерения светового потока и цветовых характеристик светодиодов

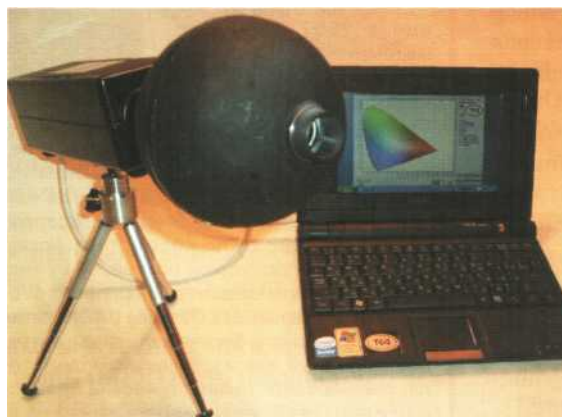


Рис. 5. Внешний вид спектрометрического комплекса «ТКА - ВД» (мод. II)

рующих светофильтров, а за вторым помещается измеряемый СД.

Определив реакцию фотодиода на излучение, например фототоки в измерительной цепи  $i$  и  $i_0$  соответствующие освещённостям  $E$  и  $E_0$ , и считая справедливым равенство  $i/i_0 = E/E_0$ , находим световой поток  $\Phi$  по формуле (1).

На основе вышеизложенного метода нами разработано высокоточное рабочее средство измерения светового потока СД, показанное на рис. 3. При этом погрешность измерения светового потока белых СД составляет 7%, а цветных - 10%. Реальные геометрические размеры сферы не превышают 10 см. Измерения светового потока СД могут проводиться за считанные секунды операторами любого уровня квалификации.

При работе над прибором показало любопытным использовать в качестве регистрирующего устройства не фотодиод, а разработанный нами ранее спектрофотокориметр «ТКА ВД», с целью определения цветовых характеристик ИС.

Спектрофотокориметр «ТКА ВД» предназначен для определения спектрального состава излучения ИС и последующего вычисления цвето-

сти ИС в выбранной системе координат. Прибор может работать как в режиме измерения спектральной плотности яркости так и в режиме измерения спектральной плотности освещённости

Оптическая схема прибора представляет собой полихроматор с дифракционной решёткой и регистрацией спектрально разложенного света фотодиодной линейкой (рис. 4). Основные технические характеристики полихроматора: рабочая спектральная область - (390-740) нм; спектральное разрешение при длине спектра порядка 7 мм - 5 нм. Блок обработки данных выполнен на микроконвертере ADuC831, в памяти которого содержатся данные об эталонном ИС. С его помощью рассчитываются координаты цветности любых ИС, как для стандартного наблюдателя МКО 1931 с полем зрения 2°, так и для дополнительного стандартного наблюдателя МКО 1964 г. (с полем зрения 10°).

Указанная идея была реализована в опытном образце комплекса «ТКА - ВД» (мод. II), предназначенного для измерения светового потока и цветовых характеристик СД (рис. 5). Благодаря этому теперь появилась возмож-

ность одновременного получения данных о спектральном составе, цветовых характеристиках и световом потоке СД.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешков В.В. Основы светотехники: Учеб. пособие для вузов. Ч. 1. - 2-е изд., перераб. - М.: Энергия, 1979. 368 с.

2. Сапожников Р.А. Теоретическая фотометрия. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1977. 262 с.

3. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы). - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. 272 с.

4. Grather, M. Measuring LED Performance// Materials of DOE SSL Market Introduction Workshop «Voices for SSL Efficiency 2008», July 9-11, 2008, Portland, Oregon, USA. URL: [http://www.netl.doe.gov/ssl/PDFs/Portland2008/Day1\\_Grather.pdf](http://www.netl.doe.gov/ssl/PDFs/Portland2008/Day1_Grather.pdf) (дата обращения: 02.12.2008).



**Круглов Олег Владимирович,** инженер. В 2008 г. окончил факультет оптико-электронных приборов и систем Санкт-Петербургского государственного университета

информационных технологий, механики и оптики. Инженер исследовательской группы ООО «НТП «ТКА», аспирант



**Кузьмин Владимир Николаевич,** доктор техн. наук. В 1971 г. окончил КГУ по специальности «оптика и фотометрия». Заместитель генерального

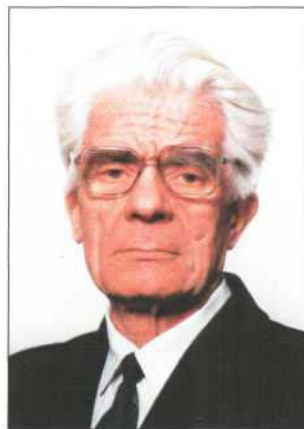
директора ООО «НТП «ТКА» по оптике и фотометрии



**Томский Константин Абрамович,** доктор техн. наук, профессор. В 1973 г. окончил СЗПИ. Генеральный директор ООО «НТП «ТКА». Член редколлегии журнала «Светотехника»

**Поздравляем с юбилеем!**

## Владимиру Семёновичу Мордюку – 75 лет



Исполнилось 75 лет известному и уважаемому в светотехническом сообществе учёному-материаловеду доктору технических наук, профессору, члену Нью-Йоркской Академии наук, заслуженному деятелю науки и образования Российской Академии Естествознания Владимиру Семёновичу Мордюку.

После окончания в 1957 г. физико-математического факультета Черновицкого государственного университета Владимир Семёнович два года проработал сельским учителем на Украине. В период 1959–1992 гг. он работал во ВНИИИС им. А.Н. Лодыгина (г. Саранск), где вырос до заведующего физическим отделом. С 1961 по 1992 гг. по совместительству, а с 1992 г. на постоянной основе, Владимир Семёнович – преподаватель Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва (МГУ). Читал спецкурсы: основы физики металлов, рентгеноструктурный анализ, физика твёрдого тела, специальные технологические процессы, основы структурного материаловедения, основы проектирования и конструирования и некоторые др.

В 1966 г., ещё участь в аспирантуре МГУ, юбиляр защитил кандидатскую диссертацию на тему «Внутреннее трение и физические свойства тугоплавких металлов» в Воронежском политехническом институте. В 1996 г. защитил докторскую диссертацию «Физические модели, структурные механизмы и методы замедления процессов старения материалов в источниках света». С 1997 по 2006 гг. – профессор кафедры электронного машиностроения Светотехнического факультета МГУ.

Владимиром Семёновичем с сотрудниками и учениками разработаны и внедрены в практику НИОКР по источникам света не менее двадцати физических методов исследования (метод внутреннего трения; методы оптической, электронной и автоионной микроскопии; масс-спектрометрические методы исследования газового наполнения источников света, методы исследования структурных превращений вольфрамовых проволок при отжиге, полигонизации, первичной и вторичной рекристаллизации применительно к производству ламп накаливания и др.) и не менее пяти технологических методов (методы спекания керамических разрядных трубок, получения монокристаллических проволок из вольфрама протягиванием через накаливаемую зону, ультразвукового волочения вольфрамовых проволок и др.).

По результатам зарубежного (с фирмами «Тунгграм», ВНР; «Того Киндзоку», Япония; «Тесла-Голешовице», ЧССР, и «Светлина», НРБ) и внутрисюжного (с ИМЕТ им. А.А. Байкова АН СССР, Институтом металлургии АН Украины, НИИИИ (Москва),

Институтом металлургии и обогащения АН Казахстана и др.) сотрудничества в области производства и контроля качества вольфрамовых проволок В.С. Мордюк организовал при физическом отделе ВНИИИС собственное опытно-промышленное производство вольфрамовых проволок, в дальнейшем переданное в ОАО «Лисма» (Саранск).

За время научной и педагогической деятельности Владимир Семёнович подготовил 6 кандидатов наук, и в настоящее время руко-

водит диссертационными работами 3-х аспирантов. Под его непосредственным руководством защитили дипломные проекты и получили путёвку в сферу производства свыше 140 студентов-выпускников МГУ.

В.С. Мордюк – автор или соавтор свыше 370 публикаций, в том числе двух монографий (Внутреннее трение и физические свойства тугоплавких металлов. – Саранск: Морд. книжн. изд-во, 1965/в соавт. с Л.Н. Александровым; Ростовые иррадиационные дефекты кристаллов люминофоров для источников света. – Новосибирск: Наука, СО, 1986/в соавт. с Л.Н. Александровым и В.Д. Золотковым/), одного учебного пособия (Основы структурного материаловедения и специальные технологические процессы в электровакуумном производстве. – Саранск: Красный Октябрь, 2001) и 3-х томов межведомственного справочника по стойкости материалов и источников света к факторам космического пространства и наземных ядерных установок. – М.: Изд-во ВНИИЭМ (1980, 1986 и 1990 гг.)/в соавт. с учениками и сотрудниками ВНИИИС/, четырнадцать авторских свидетельств и двух патентов на изобретение.

Владимир Семёнович вёл также большую научно-общественную работу. Только с 1974 г. ему довелось быть и председателем Мордовского республиканского совета научно-технических обществ, и членом секции «Проблемы преобразования электрической энергии в световую и эффективного использования её в светотехнических установках» при Научном совете АН СССР по комплексной проблеме «Научные основы электрофизики и электроэнергетики», и членом учёного совета Светотехнического факультета МГУ. Продолжает вести её и сейчас: он – член двух советов по защите докторских диссертаций при МГУ, соответственно по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и «Оптика и светотехника».

Поздравляя Владимира Семёновича с замечательным юбилеем, желаем ему и его близким крепкого здоровья, удачи и новых творческих свершений.

**Редакция и редколлегия журнала, коллеги, друзья и ученики**