

Одновременно возник вопрос о корректности оценки оптических характеристик СИД, применяя традиционные подходы их измерений. В ряде исследований было показано [2 - 6], что если выполняются измерения интегральных величин (силы света, светового потока, яркости и др.), то влиянием спектрального фактора [4] можно пренебречь. Вместе с тем, такие особенности СИД как стабильность и широкий диапазон мощности излучения, хорошая воспроизводимость основных оптических характеристик СИД излучателей весьма перспективны с точки зрения создания на их основе эталонных (референсных) источники излучения для применения в различных областях оптической радиометрии [5, 7].

Кратко остановимся на наиболее перспективных разработках РСИИ. Практически одновременно NIST (США) и Институтом физики НАН Беларуси были предложены другие конструкции референсных СИД [7-10]. В РСИИ [7] гомогенизация пространственного распределения излучения в плоскости излучающей гетероструктуры осуществляется при помощи волноводного элемента. С помощью линзы производится Фурье-преобразование изображения торца волноводного гомогенизатора в пространственно-угловое распределение излучения. Это обеспечивает относительно небольшой регулируемый (в случае изменения фокусного расстояния линзы) угол расходимости пучка излучения с достаточно высокой однородностью его интенсивности, что делает данный РСИИ не похожим на большинство современных мощных СИД, являющихся, как правило, косинусными источниками. К преимуществам, по сравнению с прототипом СЕ, можно также отнести обеспечение постоянной температуры корпуса СИД с помощью Пельтье-элемента.

В разработанных Институтом физики НАН Беларуси РСИИ однородная пространственная засветка производится при помощи цилиндрического и полусферического рассеивателей. Пространственно-угловое распределение излучения в этих источниках, близкое к распределению косинусного источника, что делает предложенные РТТИИ подобными большинству выпускаемых мощных СИД [8-10].

УДК 681

БЕЗОПАСНЫЙ ДЛЯ ГЛАЗ КОМПАКТНЫЙ ЛАЗЕР БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

Дейнека Р.В.¹, Горбаченя К.Н.¹, Ясюкевич А.С.¹, Кисель В.Э.¹, Мальцев В.В.², Леонюк Н.И.², Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь

²Кафедра кристаллографии и кристаллохимии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Твердотельный лазер на основе монокристаллов иттрий-алюминиевого и гадолиний-алюминиевого боратов (Er,Yb:YAl₃(BO₃)₄ и Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄) – синтетических структурных аналогов минерала

Кроме того, следует отметить, что для полусферического РСИИ спектры излучения не имеют спектрального сдвига при любых углах излучения, а неравномерность интенсивности светового пятна (45 мм) на расстоянии 0,5 м не превышает 1,5 %, что является значимым преимуществом такой конструкции.

Таким образом, разработка и внедрение в метрологическую практику РСИИ, обеспечивающих высокостабильное и относительно равномерное спектральное распределение мощности излучения во всем спектральном диапазоне при достаточно высокой мощности излучения, может существенно повысить точность и качество метрологических работ в области оптической радиометрии.

1. CIE 127:2007 Technical report CIE. Measurement of LEDs. 2nd edition Publication. – Vienna, CIE Central Bureau, 2007 – 32 p.
2. Influence of spatial characteristics of solid state light sources on results of measurements of their photometric and radiometric properties / S.V.Nikanenka [et al.] // CIE 216:2015 Proc. 28th Session of the CIE, Manchester, UK, 28 June – 4 July 2015. – Manchester: CIE, 2015. – Vol. 1, P. 2. – P. 1389–1395.
3. Гомбош, К. Освещение светодиодами как проблема фотометрии и колориметрии / К. Гомбош, Я. Шанда // Светотехника. – 2009. – № 2. – С. 11 – 19.
4. Погрешности измерения освещенности создаваемой светодиодами / Д.В. Скумс [и др.] // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение: тезисы докладов XIX науч.-техн. конф., Москва, 16-19 апреля 2013 г. – М.: Логос. 2013. – С. 38–40.
5. Advantages of white LED lamps and new detector technology in photometry / T. Pulli [et al.] // Light: Science & Applications. – 2015. – №. 4. – P. 1–7.
6. Влияние спектральной чувствительности фотометров на измерение силы света белых светодиодов / С.В. Никоненко [и др.] // МЕТРОЛОГИЯ-2010: наукові праці VII Міжнар. науково-техніч. конф. Харків, 12-14 жовтня 2010 р.: в 2 т. / ННЦ «Інститут метрології». – Харків, 2010. – Т. 2. – С. 19–22.
7. Broadband Radiometric LED Measurements / G.P. Eppeldauer [et al.] // Proc. of SPIE. – 2016. – Vol. 9954. – P. 99540J-01–99540J-15.
8. Эталонный монохромный светодиод: пат. № 115889, Российская Федерация, МПКG01J1/00 / А. В. Данильчик, Е.В. Луценко, С.В. Никоненко; заявитель Институт физики НАН Беларуси. – № RU 115889; заявл. 28.12.2011.
9. Influence of spatial characteristics of solid state light sources on results of measurements of their photometric and radiometric properties / S.V.Nikanenka [et al.] // CIE 216:2015 Proc. 28th Session of the CIE, Manchester, UK, 28 June – 4 July 2015. – Manchester: CIE, 2015. – Vol. 1, P. 2. – P. 1389–1395.
10. S.V. Nikanenka et al., Reference hemispherical UVA LED source / S.V.Nikanenka [et al.] Proc. NEWRAD 2017, Tokyo 13 - 16 June, 2017, ed. LOC of NEWRAD 2017, P. 114-115.

хантита – является высокоэффективным малогабаритным источником излучения с различными длинами волн (1520, 1531, 1550, 1602 нм) в условно безопасном для органов зрения спектральном

диапазоне. Принимая во внимание высокую теплопроводность, твердость, лучевую прочность, спектроскопические свойства и нелинейно-оптические характеристики этого материала, он может быть использован в качестве активной среды лазера, излучающего в области 1.5–1.6 мкм [1]. Уникальные характеристики полученных кристаллов позволяют существенно уменьшить объем активного элемента и всего устройства в целом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид Er,Yb:GAB лазера работающего в непрерывном режиме

Надежная конструкция лазера, наряду с высокими выходными характеристиками, такими как выходная мощность, дифракционно-ограниченная расходимость пучка и линейная поляризация (таблица 1) излучения обеспечивает возможность его широкого применения как в медицине, так и в оптических системах различного назначения

Таблица 1 – Характеристики Er,Yb:GAB лазера, работающего в непрерывном режиме

Характеристика	Модель		
	CW-0.5-1520	CW-0.5-1531	CW-0.5-1555
Длина волны, нм	1520	1531	1555
Выходная мощность, мВт	500	500	500
Расходимость, мрад	< 9	< 9	< 9
Поперечный профиль пучка	TEM ₀₀	TEM ₀₀	TEM ₀₀
Поляризация	Линейная, > 100:1	Линейная, > 100:1	Линейная, > 100:1
Стабильность выходной мощности, % СКО, 1 час	< 1	< 1	< 1
Габаритный размеры (ШxВxД, мм ³)	80x90x180	80x90x180	80x90x180
Охлаждение	Воздушное	Воздушное	Воздушное

Такие «хантитовые» лазеры со сверхкороткими импульсами и частотой следования в десятки гигагерц (рисунок 2) предназначены также для телекоммуникационных систем большой емкости, оптической локации и дальнометрии [2].

Кроме того, создание лазерного излучателя с уникальными характеристиками позволит разработать приборы нового класса, обладающие улучшенными эксплуатационными характеристиками (таблица 2) и меньшей стоимостью для применений, в частности, в качестве дальномеров для

беспилотных летательных аппаратов, работающих в режиме накопления сигнала, а также в воздушной навигации и для зондирования атмосферы, в системах целеуказания и оптоэлектронного противодействия, поскольку попадают в «окно прозрачности» атмосферы.



Рисунок 2 – OEM импульсный лазер на основе кристалла Er,Yb:GAB

Таблица 2 – Характеристики Er,Yb:GAB лазера работающего в импульсном режиме

Характеристика	Значение
Длина волны, нм	1550
Энергия импульсов, мкДж	*30 **10
Частота следования импульсов, кГц	*10 **30
Длительность импульсов, нс	< 5
Поперечный профиль пучка	TEM ₀₀
Габаритный размеры (ДиамД, мм)	25.4x40
Охлаждение	Воздушное

Осциллограммы одиночного импульса и последовательности импульсов представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

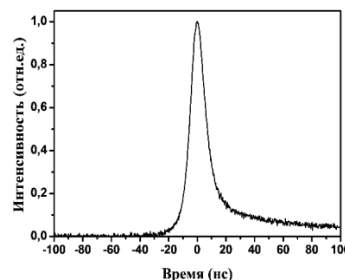


Рисунок 3 – Осциллограмма одиночного импульса

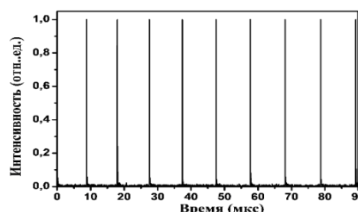


Рисунок 4 – Осциллограмма последовательности импульсов

Использование лазерного диода для накачки увеличивает время наработки на отказ предлагаемого лазера до 100 000 часов. Для него не требуется дополнительного водяного охлаждения, при этом в процессе работы лазера отсутствуют вибрации. Он способен конкурировать с образцами ведущих мировых компаний.

1. K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, V.V. Maltsev, N.I. Leonyuk, and N.V. Kuleshov // Optics Letters, 38, 2446 (2013).

2. K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, V.V. Maltsev, N.I. Leonyuk and N.V. Kuleshov // Optics Letters, 41, 918 (2016).

УДК 535.317

АБЕРРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ДВУХЗЕРКАЛЬНОГО ОБЪЕКТИВА С ТРЕМЯ ОТРАЖЕНИЯМИ

Аргюхина Н.К.¹, Самбрано Л.Ф.^{1,2}

¹Белорусский национальный технический университет, Минск Республика, Беларусь

²Национальный центр оптических технологий, Мериды, Венесуэла

В последнее время большое распространение получили зеркальные системы из-за отсутствия хроматических aberrаций при любых апертурах и фокусных расстояниях. Они используются в разнообразных областях науки и техники.

Развитие схемных решений зеркальных систем идет по пути улучшения оптических характеристик: увеличение угловых полей, сокращение габаритов, повышение качества изображения, а также точность и технологичность изготовления отражающих поверхностей. Окончательный выбор схемы с различным числом зеркальных элементов всегда осуществляется для конкретной задачи. Накоплен значительный потенциал по разработке и исследованию двухзеркальных систем [1].

В данной работе представлено проектирование двухзеркального объектива с тремя отражениями от двух параболических зеркал, причем используется двойное отражение от главного зеркала. Такой объектив построен на основе телескопической системы Мерсенна [2]. Абберрационный анализ показал, что исследуемая композиция обладает исправлением сферической aberrации, соблюдением условия синусов Аббе и исправлением астигматизма при соблюдении телецентрического хода главных лучей в пространстве между обоими зеркалами.

Схема объектива показана на рисунке 1. Второе зеркало имеет центральное отверстие для прохождения светового пучка лучей. Деформация для каждой отрагательной поверхности: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = -1$.

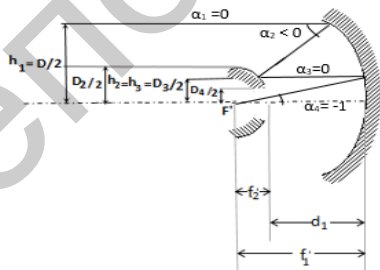


Рисунок 1 – Схема двухзеркального объектива с ходом первого параксиального луча

Проектирование зеркального объектива проведено в два этапа: габаритный расчет и aberrационный (оценка коэффициентов Зейделя). При этом применим алгебраический метод проектирования [1]. Сначала установлены

условия нормировки для первого параксиального луча:

$$\alpha_1 = \alpha_3 = 0, \alpha_2 < 0, \alpha_4 = -1, h_1 = 1..$$

Отметим, что наибольший эффект укорочения получается при следующем дополнительном условии $f_1/D = 0,25$.

Получим сводки формул для первого этапа параметрического расчета:

$$\begin{aligned} -1 &= f' = f'_1 \cdot \Gamma, \\ \frac{D}{D_2} &= \frac{f'_1}{f'_2} = \Gamma, \quad \frac{D_2}{D_3} = \Gamma, \quad \frac{D_3}{D_4} = \Gamma, \\ d_1 &= f'_1 - f'_2, \quad f'_1 = -\frac{1}{\Gamma}, \quad f'_2 = -\frac{1}{\Gamma^2}, \\ d_1 &= -\frac{\Gamma-1}{\Gamma^2}, \quad h_2 = h_3 = \frac{1}{\Gamma}. \end{aligned}$$

Значение свободного коррекционного параметра α_2 , влияющего на конструктивное решение системы можно определить с помощью следующей формулы:

$$\alpha_2 = -\frac{h_2 - h_1}{d_1} = -\Gamma.$$

Формулы для расчета величин радиусов зеркал:

$$r_1 = \frac{2}{\alpha_2} = -\frac{2}{\Gamma}, \quad r_2 = \frac{2h_2}{\alpha_2} = -\frac{2}{\Gamma^2}, \quad r_3 = -\frac{2h_2}{\alpha_4}.$$

Из-за двойного отражения главного зеркала имеем , т.е. .

В процессе проектирования данного объектива возникают некоторые дополнительные условия.

Расчитанная система имеет высокое относительное отверстие $D/f' = 1:0.5$, но малое поле зрения (порядка $2\omega = 12'$).

Расчетные значения конструктивных параметров системы (радиусов кривизны, диаметров и расстояний между поверхностями) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Конструктивные параметры системы, мм, (когда $\alpha_2 = -2$)

$R_1=R_3$	R_2	d_1	D	D_2	D_3	D_4
-2000	-500	-750	2000	1000	500	250

На втором этапе получены коэффициенты aberrаций третьего порядка, которые описываются пятью уравнениями:

$$V = V_0 = 0,$$

$$K = K_0 - tB_0 = K_0,$$

$$C = C_0 - 2tK_0 + t^2B_0,$$

$$D - C = D_0 - C_0,$$

$$E = E_0 - t(2C_0 + D_0) + 3t^2K_0 - t^3B_0,$$