

составляющей в излучаемом спектре. Светильники имеют два различных форм фактора: первая модель представляет собой линейный промышленный светильник, вторая модель изготовлена в формате офисного светильника с креплением «армстронг».

Внешний вид светильников представлен на рисунке 2.

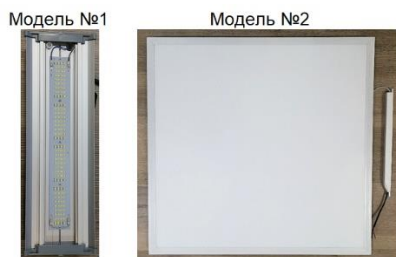


Рисунок 2 – Фотографии разработанных светильников

Разработанные светильники могут применяться в следующих областях:

- защита светочувствительных процессов (фотолитография) в полупроводниковой промышленности и нанотехнологиях;
- предотвращение повреждения светочувствительных ингредиентов в фармацевтическом производстве и компаундировании;
- предотвращение преждевременного затвердевания покрытий, улучшение их качества.

УДК 535.317; 681.7

АНАЛИЗ МЕТОДИК АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ОБЪЕКТИВОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ ДЛЯ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Артюхина Н.К., Чергейко С.В., Шанчук В.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Проведен анализ методик автоматизированного синтеза ИК объективов с плавным изменением фокусного расстояния; установлены особенности габаритного расчета.

Ключевые слова: вариообъектив, фокусные расстояния, подвижки компонентов, качество изображения.

ANALYSIS OF AUTOMATED CALCULATION METHODS OF THE OPTICAL SYSTEM IR ZOOM LENS

Artioukhina N.K., Charheika S.V., Shanchuk V.A.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The analysis of methods of automated synthesis of IR lenses with a smooth change of the focal length is carried out; the features of dimensional calculation are established.

Key words: zoom lens, focal length, component movements, image quality.

*Адрес для переписки: Чергейко С.В., ул. Макаёнка 25, г. Минск, 220114, Республика Беларусь
e-mail: ich0@bk.ru*

В современном оптическом приборостроении широко применяются объективы с переменным фокусным расстоянием, что подтверждается большим количеством публикаций, описывающих различные методы параксиального синтеза вариообъективов [1; 2]. Наиболее важен этап синтеза, на котором определяются конструктивные параметры оптической системы: радиусы

Преимуществами разработанных светильников являются низкое энергопотребление и высокая световая отдача, отсутствие цветных фильтров.

Технические характеристики светильников приведены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики

| Характеристика, единица измерения | Модель | |
|--|--------------|------------|
| | № 1 | № 2 |
| Потребляемая мощность, Вт | 57 | 34 |
| Коэффициент мощности | 0,876 | 0,987 |
| Световой поток, лм | 8560 | 2968 |
| Световая отдача, лм/Вт | 150 | 89,5 |
| Излучаемая мощность, Вт | 20 | 7,6 |
| Пиковая длина волны, нм | 578 | 595 |
| Доля «синего» света (в диапазоне менее 500 нм) | не более 1 % | |
| Габаритные размеры, мм | 372×134×65 | 595×595×21 |

Литература

1. Yan, D.D. Highly efficient emission and high-CRI warm white light-emitting diodes from ligand-modified CsPbBr₃ quantum dots / D.D. Yan, S.Y. Zhao, Y.B. Zhang // Opto-Electron Adv. – 2022. – Vol. 5. – P. 200075.
2. Ma, Z.Z. Stable yellow light-emitting devices based on ternary copper halides with broadband emissive self-trapped excitons / Z.Z. Ma, Z.F. Shi // ACS Na. – 2020. – Vol. 14 (4). – P. 4475–4486.

кривизны поверхностей, толщины линз, осевые расстояния между ними, положение предмета и входного зрачка.

В работе проанализированы различные методы автоматизированного расчета оптических систем переменного увеличения. Одна группа методов основана на поиске в базе данных наиболее подходящего аналога и использовании его для

получения новой схемы; подход позволяет не выполнять параксиальный синтез, при этом не исключается возможность получения положительного результата. Другая группа методов основана на применении методов нелинейного программирования, при этом для реализации метода необходим трудоемкий патентный поиск для получения стартовой системы. Третья группа методов – это методы, основанные на разработке специализированных алгоритмов, учитывающих специфику решаемых задач.

Самым простым является метод проб [3], для использования которого необходима исходная оптическая система, взятая из патентов, архивов, литературных источников, обладающая близкими к требуемым характеристиками. Далее масштабируют, оптимизируют, увеличивают или уменьшают количество компонентов, разделяют склейки или т. д. с целью получения требуемого качества изображения. Данный метод требует интуиции и опыта оптика-расчетчика, занимает много времени и не всегда приводит к положительному результату. К тому же он не позволяет рассчитывать новые оптические системы, не имеющие аналога.

Широко распространенным методом при проектировании изображающих оптических систем является алгебраический метод расчета [4], основанный на применении теории аббераций третьего порядка. Производится синтез оптической системы из тонких компонентов путем решения алгебраических уравнений зависимостей коэффициентов аббераций третьего порядка от параметров оптической системы. При больших значениях относительного отверстия и поля зрения точность расчета уменьшается вследствие увеличения влияния аббераций высших порядков. Однако в ИК диапазоне большие значения длин волн позволяют применять данный метод для расчета светосильных и широкоугольных систем.

Композиционный метод основан на практическом опыте разработки оптических систем, когда учитываются свойства и возможности отдельных оптических элементов, сочетание которых обеспечивает компоновку оптической схемы для удовлетворения требований, предъявляемых к ней. Данный метод исключает существование в оптической схеме бесполезных элементов. Метод был предложен профессором М. М. Русиновым и получил развитие в его трудах [5]. По своей роли оптические элементы разделяются на силовые, коррекционно-силовые и коррекционные. Коррекция хроматических аббераций проводится за счет замены одиночных линз на склейки. Использование метода для расчета систем, работающих в ИК области спектра, осложнено отсутствием оптических клеев, прозрачных в данном диапазоне. Отметим, что и алгебраический метод и метод композиции на данный момент являются

комбинированными. Первый этап расчета заключается в получении стартовой системы, свободной от аббераций третьего порядка. На втором этапе производится оптимизация и автоматизированная коррекция аббераций [6].

При расчете сложных оптических систем, состоящих из нескольких разнесенных групп компонентов, наиболее целесообразно воспользоваться методом расчета по частям [1]. При этом оптическая система разделяется на отдельные части, каждая из которых рассчитывается отдельно, что позволяет упростить процессы сборки и юстировки системы.

Развитие композиционного метода проведено профессором Л.Н. Андреевым, предложен модульный принцип проектирования, основанный на синтезе схемы из оптических модулей с известными коррекционными свойствами [7]. В качестве модулей используются линзы с асферическими поверхностями, апланатические мениски и гиперхроматические линзы.

Достаточно интересной представляется современная методика [8], где предложено совместить габаритный и абберационный расчеты. Схема задается набором систем, соответствующим различным положениям компонентов. Токая система задается через углы α и высоты h первого параксиального луча, затем составляется оценочная функция, которая учитывает требования на параксиальные характеристики, ограничения на абберационные параметры тонких компонентов, требования к плавности хода подвижных компонентов. Далее полученная оценочная функция минимизируется в программном пакете Maple. Достоинством является то, что предложенный подход применим для параксиального расчета любых систем, не только переменного увеличения, однако не решает проблемы нахождения стартовой точки, тем более что в данном случае необходимо задать стартовую систему в определенных положениях, а не только в крайних. Наконец, алгоритм оптимизации может расходиться и не дать положительного решения.

К современным методикам отнесем методику А.Б. Оструна [9], суть которой заключается в определении оптических сил элементов базовой трехкомпонентной схемы с одним внутренним перемещающимся компонентом при заданном габарите системы. Такая схема позволяет добиться нужного перепада увеличения и сохранения положения плоскости изображения в двух крайних состояниях. Усовершенствование схемы проводится за счет расщепления одного из компонентов на два (с образованием четырехкомпонентной системы с двумя подвижными элементами) с целью обеспечения неподвижности изображения во всех состояниях. При необходимости может быть разделен на две части еще один из компонентов (с образованием пятикомпонентной системы с

тремя подвижными элементами), что позволяет обеспечить дополнительно неподвижность положение выходного зрачка. При использовании линз с переменными оптическими силами расщепление не производится, а у одного или несколько компонентов оптические силы считаются переменной величиной. На последнем этапе осуществляется расчет кинематики подвижных компонентов, либо расчет изменения оптических сил компонентов.

Следовательно, ни один из выше приведенных методов не позволяет полностью автоматизировать парааксиальный синтез центрированных оптических систем переменного увеличения. Поэтому исследование и разработка новых методов такого класса является актуальной научной и практической задачей.

Литература

1. Запрягаева, Л.А. Расчет и проектирование оптических систем / Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. – М. : Логос, 2000. – 584 с.
2. Зверев, В.А. Идеи композиции как принцип построения рациональной конструкции оптической си-

стемы / В.А. Зверев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2002. – № 5. – С 56–71.

3. Бахолдин, А.В. Теория и методы проектирования оптических систем : уч. пособие / А.В. Бахолдин, Г.Э. Романова, Г.И. Цуканова; под редакцией А.А. Шехонина. – СПб., 2011. – 104 с.
4. Слюсарев, Г.Г. Методы расчета оптических систем / Г.Г. Слюсарев. – Л. : Машиностроение, 1969. – 670 с.
5. Русинов, М.М. Композиция оптических систем / М.М. Русинов. – Л. : Машиностроение, 1989. – 383 с.
6. Грамматин, А.П. Расчет и автоматизация проектирования оптических систем: уч. пособие / А.П. Грамматин, Г.Э. Романова, О.Н. Балащенко. – СПб., 2013. – 128 с.
7. Андреев, Л.Н., Модульное проектирование оптических систем / Л.Н. Андреев, В.В. Ежова, Г.С. Дегтярева // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – Т. 57, вып. 3. – С. 57–62.
8. Крутман, С.А., Методика автоматизированного синтеза панкратических объективов в тонких компонентах / С.А. Крутман, В.Г. Поспехов // Сборник трудов международной конференции Прикладная оптика. – 2010. – Том 1. – С. 80–84.
9. Острун, А.Б. Разработка методов автоматизированного синтеза оптических систем переменного увеличения в гауссовой области // Дис. ... канд. техн. наук: 05.06.14 : Санкт-Петербург, 2014. – 104 с.

УДК 621.3.038.825.2

ИТТЕРБИЕВЫЙ ПЕТЛЕВОЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ МОД

Шижко Т.А., Лазарчук А.И., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э.

*НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследованы особенности получения режима синхронизации мод в полностью волоконном петлевом лазере на основе активного одномодового иттербиевого волокна. Измерены выходные характеристики излучения: частота следования и спектральная полуширина световых импульсов, выходная мощность и центральная длина волны выходного излучения.

Ключевые слова: активное волокно, синхронизация мод, ионы иттербия, петлевой лазер, нелинейные эффекты.

MODE-LOCKED YTTERBIUM LOOP FIBER LASER Shishko T.A., Lazarchuk A.I., Yasukevich A.S., Kisel V.E.

*Center for Optical Materials and Technologies BNTU
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The features of mode-locking operation in an all-fiber loop laser based on active single-mode ytterbium fiber have been studied. The output characteristics of the radiation were measured: repetition frequency and spectral bandwidth of light pulses, output power and central wavelength of the output radiation.

Key words: active fiber, mode-locking, ytterbium ions, loop laser, nonlinear processes.

*Адрес для переписки: Кисель В.Э., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: vekisel@bntu.by*

Лазерное излучение с длиной волны 1–1,1 мкм имеет ряд достоинств, интересных для широкого практического применения в лазерной дальнометрии, медицине, системах оптической локации и спектрометрии благодаря целому ряду причин. В настоящее время существует большое количество источников лазерного излучения с длиной волны 1–1,1 мкм: волоконные лазеры, полупроводниковые лазеры, твердотельные лазеры. В последнее

время, благодаря простоте использования, надежности и компактности конструкции все больший интерес разработчиков лазерных систем привлекают иттербиевые волоконные лазеры. В настоящее время исследование и разработка иттербиевых волоконных лазеров, генерирующих ультракороткие лазерные импульсы (УКИ) в спектральной области 1–1,1 мкм представляет значительный интерес с точки зрения широкого