

УДК 621.397

Разработка и исследование объектива ультрафиолетового диапазона спектра

А.А. Колесова, А.В. Полесский, К.А. Хамидуллин, А.Д. Юдовская

Приведены результаты разработки ультрафиолетового объектива, построенного на основе двух склеенных компонентов. Объектив обладает достаточно высоким качеством изображения и предназначен для использования в оптико-электронных приборах, построенных на основе матричных фотоприемников формата 320×256 с шагом 30 мкм. В статье также приведены результаты измерения пятна рассеяния объектива.

PACS: 42.30.Va

Ключевые слова: ультрафиолетовый объектив, пятно рассеяния, фотоэлектрическая связь, оптико-электронные системы.

Введение

Таблица 1

Необходимость решения новых научно-технических задач требует освоения ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра. К задачам, решаемым в УФ-диапазоне, можно отнести дистанционную дефектоскопию высоковольтных линий и радиационно-опасных производств, научные исследования биологических объектов и биосферы, проверку подлинности произведений искусств и реставрацию, геологические исследования минерального состава, горное дело, криминалистику и т.д.. Для решения этих задач в мире ведется активная разработка ультрафиолетовых оптико-электронных систем, наиболее современные из которых создаются на основе специализированных матричных фотоприемных устройств (МФПУ), построенных, например, на основе материала AlGaN. Одним из ключевых элементов оптико-электронных систем является объектив.

В мире разработкой и выпуском объективов для УФ-диапазона спектра занимаются такие компании, как Edmund Optics (США), Goyo Optical (Япония) и SODERN (Франция). Ими созданы линейки специализированных УФ-объективов с различными фокусными расстояниями. Сводные характеристики существующих объективов приведены в табл. 1.

*Основные характеристики
зарубежных ультрафиолетовых объективов*

<i>Наименование</i>	<i>Величина</i>
Спектральный диапазон, мкм	0,24–0,42
Фокусное расстояние, мм	25–150
Относительное отверстие	1:1,8–1:4,0
Диагональ МФПУ, мм	17
Размер пятна рассеяния, мкм	50–80
Коэффициент пропускания, %	85–90

К недостаткам зарубежных УФ-объективов можно отнести сравнительно большие пятна рассеяния, составляющие порядка 50–80 мкм.

В СССР ранее был налажен выпуск объективов марок «Уфар-1» и «Уфар-4» на основе флюорита и плавленого кварца, а также серии зеркально-линзовых объективов «Зуфар» для ультрафиолетового диапазона спектра. В настоящее время возникла необходимость создания новых отечественных УФ-объективов, соответствующих современному научно-техническому уровню.

Целью данной работы была разработка и исследование параметров УФ-объектива, предназначенного для работы с матричным фотоприемным устройством (МФПУ) в составе оптико-электронной аппаратуры.

Разработка ультрафиолетового объектива

При разработке УФ объектива должны были быть учтены следующие факторы:

- параметры УФ МФПУ, используемого в оптико-электронной системе;

Колесова Анастасия Александровна, студентка².
 Полесский Алексей Викторович, главный метролог¹.
 Хамидуллин Камиль Алиевич, начальник отдела.¹
 Юдовская Александра Дмитриевна, инженер¹.
¹ОАО «НПО «Орион».
 Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2
 E-mail: orion@orion-ir.ru
²МГТУ им. Н.Э.Баумана,
 Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1
 E-mail: bauman@bmstu.ru

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2013 г.

© Колесова А.А., Полесский А.В., Хамидуллин К.А., Юдовская А.Д., 2013

– необходимость обеспечения контроля пятна рассеяния объектива;

– технологические особенности изготовления оптических компонентов УФ-диапазона;

В качестве базового МФПУ оптико-электронной системой, для которого велась разработка объектива, выбран фотоприемник на основе AlGaIn формата 320x256 с шагом 30 мкм и термоэлектрической стабилизацией, разработанный в ОАО «НПО «Орион». Спектральный диапазон работы в зависимости от состава ФЧЭ может быть 0,24–0,28 мкм (солнечно-слепые МФПУ) или 0,28–0,36 мкм (видимо-слепые МФПУ).

Контроль величины пятна рассеяния в УФ-диапазоне спектра значительно сложнее, чем в видимом, из-за необходимости применения специальных методов и средств. Сравнитель-

но простое решение возможно при расширении спектрального диапазона работы объектива до ~400 нм. С целью повышения технологичности и уменьшения себестоимости объектива были использованы только сферические поверхности, а также (ввиду некоторых трудностей с изготовлением просветляющих покрытий) объектив было решено создавать на основе склеенных компонентов.

Основной проблемой при разработке оптической схемы объектива является сравнительно небольшое количество прозрачных в УФ-диапазоне материалов, обладающей малой степенью растворимости в воде (табл. 2). При этом показатели преломления материалов сравнительно малы (не более 1,85), что приводит к сложностям при устранении полевых аберраций.

Таблица 2

Оптические материалы для УФ диапазона

Материал	LiF	MgF ₂	BaF ₂	CaF ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Показатель преломления ($\lambda = 260\text{нм}$)	1,39	1,42	1,51	1,45	1,83	1,45
Спектральный диапазон работы, мкм	0,12–6	0,2–6	0,18–12	0,15–9	0,17–5,5	0,18–3,5

В результате синтеза требований к оптической системе получился объектив, оптическая схема которого приведена на рис. 1. Объектив состоит из двух склеенных компонентов, имеет значительную осевую толщину линз, что позволяет достигнуть необходимой степени аберрационной коррекции.

Объектив обладает следующими характеристиками: фокусное расстояние 70 мм; линейное поле зрения 9 мм; относительное отверстие 1:2,5; спектральный диапазон 0,27–0,40 мкм, входной зрачок расположен на первой поверхности.

Расчетный размер пятен рассеяния объектива приведен в табл. 3.

Таблица 3

Расчетный размер пятен рассеяния объектива для различных спектральных диапазонов.

Размер пятна рассеяния		Спектральный диапазон, мкм		
		0,24–0,28	0,27–0,40	0,39–0,43
точка на оси, мкм	по уровню 80% энергии,	26,9 / (13,9) *	19,2	17,3
	по уровню 90% энергии	50,5 / (26,6) *	24,7	19,9
край поля, мкм	по уровню 80% энергии	33,6 / (21,9) *	22,8	27,7
	по уровню 90% энергии	45,9 / (26,8) *	27,5	34,7

* в скобках приведен размер пятен рассеяния при диафрагмировании входного зрачка объектива до относительного отверстия 1:3.

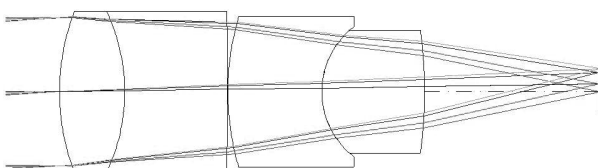


Рис. 1. Оптическая схема ультрафиолетового объектива

Конструкция разработанного ультрафиолетового объектива приведена на рис. 2.

Конструктивно объектив состоит из общей оправы 1, в которой закреплены оптические компоненты объектива. Обеспечение межосевого расстояния между линзовыми компонентами достигается путем подточки промежуточного кольца 4. Оправы 1, 2 и кольцо 3 являются основой механизма фокусировки. В объективе реализован

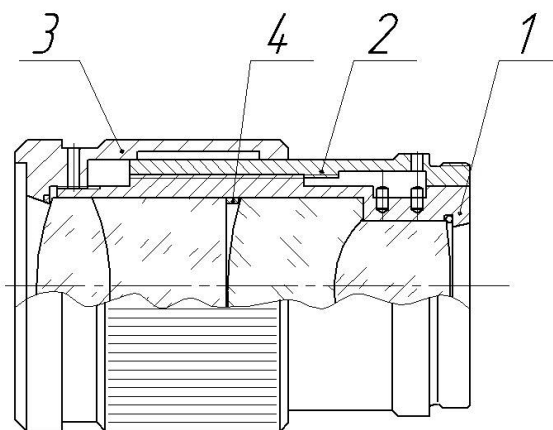


Рис. 2. Конструкция ультрафиолетового объектива: 1 — оправа основная; 2 — оправа крепежная; 3 — кольцо фокусирующее; 4 — кольцо.

механизм внешней фокусировки, т.е. при вращении фокусирующего кольца 3 блок линз в оправе 1 движется по винтовой траектории. Такой механизм фокусировки был выбран ввиду его конструктивной простоты. Внешний вид объектива приведен на рисунке 3.

Измерение размера пятна рассеяния

Контроль величины и распределения энергии в пятне рассеяния является важным этапом создания объектива, поскольку именно на этом этапе происходит подтверждение правильности принятых оптических и конструкторских решений, заложенных в его основе. Контроль объектива проводился на оптической скамье ОСК-2, схема контроля приведена на рис. 4.

В качестве источника излучения 1 использовался фиолетовый светодиод с спектром излучения 0,39–0,43 мкм, ожидаемый размер пятна рассеяния для точки на оси в этом случае составляет ~19 мкм. Конденсор 2 выполняет задачу согласования апертур до и после точечной диафрагмы 3. В качестве точечной диафрагмы использована диафрагма из комплекта ОСК-2 размером 20 мкм. Расстояние между объективом и точечной диафрагмой составляло около 4 метров. Контроль величины пятна рассеяния и распределения энергии в нем проводился с помощью микроскопа с камерой-окуляром. Микроскоп с камерой-окуляром



Рис. 3. Внешний вид изготовленного УФ-объектива

был предварительно откалиброван с целью определения линейного поля зрения одного пикселя. Также было соблюдено условие того, что освещенность в центральной зоне пятна рассеяния должна лежать в пределах динамического диапазона камеры-окуляра.

Измеренное распределение энергии в пятне рассеяния приведено на рис. 5.

Величина пятна рассеяния по уровню 80% энергии составляет 15 мкм, а по уровню 90% энергии — 22 мкм. Разница полученных результатов и расчетных (соответственно, 15 мкм и 17,3 мкм) для концентрации энергии 80% объясняется тем, что из-за наличия кривизны поля местоположение плоскости наилучшего изображения для точки на оси отличается от плоскости наилучшего изображения объектива в целом, и, как следствие, отличаются величины пятен рассеяния. Расчет показал, что в плоскости наилучшего изображения для точки на оси величина пятна рассеяния составляет 14,2 мкм.

Полученные результаты подтверждают правильность оптического расчета и принятых конструктивных решений. Размер пятна рассеяния позволяет использовать данный объектив в качестве зонда для измерения фотоэлектрической связи УФ МФПУ. Согласно ГОСТ 17772–88, с его помощью возможен контроль фотоэлектрической связи в УФ МФПУ с шагом более 22 мкм.

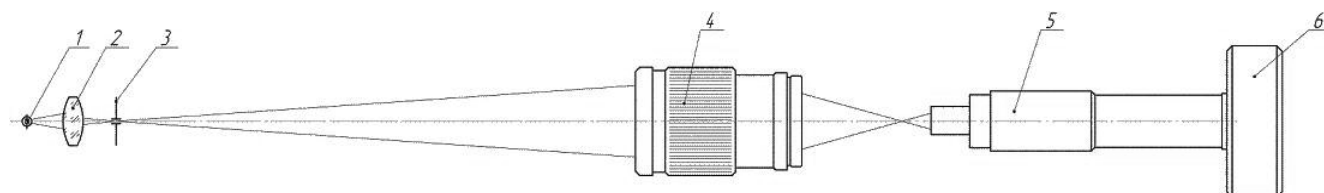


Рис. 4. Схема для контроля величины и распределения энергии в пятне рассеяния: 1 — фиолетовый светодиод; 2 — конденсор; 3 — точечная диафрагма; 4 — контролируемый объектив; 5 — микроскоп; 6 — камера-окуляр

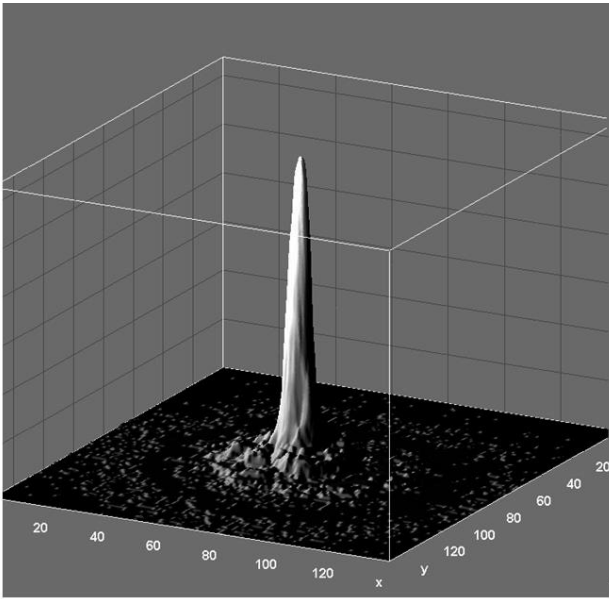


Рис. 5. Распределение энергии в пятне рассеяния изготовленного УФ-объектива

Заключение

В результате работы был разработан объектив для ультрафиолетового диапазона спектра, кото-

рый может быть использован для оптико-электронных приборов видимо-слепого и солнечно-слепого УФ-диапазона, а также для разработки стендового оборудования наладки и измерения характеристик УФ МФПУ.

Результаты измерения пятна рассеяния показали, что его размер по уровню 90% составляет 22 мкм. Это демонстрирует пригодность объектива для измерения фотоэлектрической связи УФ МФПУ.

Литература

1. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. — М.: Искусство, 1971.
2. Ллойд Дж. Системы тепловидения. — М.: МИР, 1978.
3. Афанасьев В.А. Оптические измерения. — М.: Недра, 1968.
4. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 4. Оценка качества оптического изображения и измерение его характеристик. — СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2005.

Design of the UV lens

*A.A. Kolesova*², *A.V. Polesskiy*¹, *K.A. Khamidullin*¹, and *A.D. Yudovskaya*¹

¹Orion Research-and-Production Association,
46/2 Enthusiastov highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: oron@orion-ir.ru

²Bauman Moscow State Technical University,
Bild 1, 5 2-nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia
E-mail: bauman@bmstu.ru

Results of development the UV lens based on two glued spherical components are given. Lens designed for UV optical-electronic systems based on 320x256 focal plane array with 30 μm pitch are given. Also in article discussed result of UV lens PSF measurement.

PACS: 42.30.Va

Keywords: UV lens, PSF, pixel crosstalk, optical-electronic systems.

Bibliography — 4 references

Received November 7, 2013