

В. М. МЕДУНЕЦКИЙ, С. В. СОЛК

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИНФРАКРАСНЫХ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены некоторые вопросы обеспечения показателей качества инфракрасных оптико-механических систем. Показано, что технология сборки двухзеркальных систем с использованием синтезированных голограммных оптических элементов позволяет проектировать системы с „недоисправленными“ фокусами. Рассмотрены технические решения для многоспектральных оптико-механических систем, работающих в неблагоприятных климатических условиях. Отмечается перспективность использования селективных покрытий и систем микросканирования.

Ключевые слова: оптико-механическая система, матричное фотоприемное устройство, алмазное микроточение.

Успехи электронной промышленности в сфере производства матричных фотоприемных устройств (МФПУ) инфракрасного (ИК) диапазона привели к повышению требований к показателям качества оптико-механических систем (ОМС).

Инфракрасные ОМС существенно отличаются от систем видимого диапазона. Большой дифракционный предел разрешения, меньшая номенклатура оптических материалов для изготовления проходной оптики, сильная зависимость показателей преломления от температуры, высокие значения показателей преломления, а также необходимость учета собственного теплового излучения оптических и механических элементов требуют от разработчиков таких систем поиска новых технических решений.

В работе [1] рассмотрена технология юстировки крупногабаритного (апертура 1,1 м) зеркально-линзового ИК-объектива. Объектив представляет собой систему Кассегрена, включающую блок переноса изображения, служащий для минимизации паразитных фоновых засветок (такой подход позволил уменьшить длину ОМС при увеличении ее светосилы, а также компенсации аберраций). Относительное отверстие 1:3,3, рабочий спектральный диапазон 8—12 мкм. Юстировка двухзеркальной системы проводится с использованием синтезированного голограммного оптического элемента (ОЭ) и лазера, работающего в видимом диапазоне. Такой элемент состоит из трех осевых синтезированных голограмм, размещенных соосно на единой подложке. При использовании этой технологии не требуется высокое качество изображения в фокальной плоскости двухзеркальной системы.

Следует отметить, что синтезированный голографический ОЭ работает с кольцевыми зонами на вторичном и главном зеркалах. При проектировании зеркал целесообразно задавать дополнительный допуск на точность формы рабочих поверхностей в этих зонах, с учетом их работы в процессе юстировки в видимом диапазоне.

Возможности системы с „недоисправленными“ фокусами показаны в работе [2]. Объектив с апертурой 600 мм, относительным отверстием 1:3 и полем зрения 1° предназначен для работы в диапазоне 0,4—10 мкм. Объектив представляет собой модифицированную схему Ричи—Кретьена с однолинзовым корректором, который, в отличие от применяющихся традиционно, не является афокальным. Модифицированная схема использована для того, чтобы кома, вносимая двухлинзовой системой, компенсировала кому, вносимую однолинзовым корректором. Изготовленный корректор из BaF_2 вносит незначительные хроматические абер-

рации, BaF_2 прозрачен в широком спектральном диапазоне и не требует нанесения просветляющих покрытий. Такой объектив может работать с многодиапазонными МФПУ.

Как правило, инфракрасные ОМС предназначены для работы в сложных климатических условиях. Перепад температур, повышенная влажность, соляной туман, динамическое воздействие пыли приводят к деградации просветляющих, отражающих, спектроделительных и других покрытий оптических элементов. Вследствие высоких показателей преломления ИК-материалов деградация покрытий приводит к значительному уменьшению пропускания системы.

Особенно чувствительны к воздействию внешних факторов сложные, состоящие иногда из десятков слоев спектроделительные покрытия. В работе [3] рассмотрены конструкции трехдиапазонных спектроделителей, в работе которых используются оптические свойства (высокое отражение в ИК-диапазоне) некоторых оптических материалов, таких как кварц или сапфир. Наносимые на спектроделители вакуумные покрытия являются одно- или двуслойными, они достаточно стойки к внешним воздействиям. В работе [3] показана возможность использования трехдиапазонных спектроделителей в качестве корректоров полевых аберраций в зеркально-линзовых системах.

Для сохранения характеристик ИК ОМС, в частности, следует контролировать состояние покрытий ОЭ и газовой среды внутри прибора. В работе [4] рассмотрены методики, основанные на контроле изменения коэффициентов отражения рабочих поверхностей ОЭ ОМС или дополнительных ОЭ, покрытия которых малостойки к внешним воздействиям.

Большое количество ИК-материалов непрозрачны в видимой области спектра, поэтому для контроля показателей качества заготовок проходных ОЭ невозможно применить методики, используемые для видимого диапазона. В работе [5] рассмотрена следующая методика: измеряется функция передачи модуляции (ФПМ) эталонного ИК-объектива. Затем перед эталонным объективом устанавливается заготовка ОЭ, представляющая собой плоскопараллельную пластину с рабочими поверхностями оптического качества. Проводятся измерения ФПМ системы „плоскопараллельная пластина—объектив“. По изменению ФПМ можно сделать вывод о годности заготовки: при значительных изменениях заготовка выбраковывается.

Перед разработчиками многоспектральных систем встает множество задач, требующих взаимоисключающих решений. Так, для ОМС, работающей одновременно в видимом и инфракрасном диапазонах, такой задачей является выбор покрытий механических элементов конструкции. Для видимого диапазона необходим высокий коэффициент поглощения, для ИК-диапазона — низкий, чтобы обеспечить минимальное тепловое излучение элементов конструкции. Перспективным представляется использование селективных покрытий [6], имеющих пониженное значение коэффициента излучения в отдельных диапазонах (например, 8—14 мкм) и повышенное в других (например, в видимом).

Интересные технические решения, позволяющие повысить показатели качества ИК ОМС путем микросканирования, заключающегося в искусственном смещении изображения на часть пиксела МФПУ, описаны в работах [7, 8]. Такие устройства позволяют снизить требования к МФПУ.

Наиболее эффективной технологией изготовления ОЭ для ИК-диапазона является алмазное микроточение (АМТ). В работе [9] отмечается, что на сегодняшний день технология АМТ в основном применяется для формообразования рабочих поверхностей ОЭ. Перспективными направлениями развития технологии являются создание нанорельефа для генерации поверхностных электромагнитных волн, химическая и электрохимическая дополировка рабочих поверхностей ОЭ после АМТ с целью уменьшения шероховатости для работы в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра.

Выводы

1. Рассмотренная технология юстировки двухзеркальных систем с использованием синтезированных голограммных ОЭ дает возможность проектировать системы с „недоисправленными“ промежуточными фокусами, что позволяет повысить относительное отверстие, уменьшить габариты ОМС.

2. При проектировании двухзеркальных систем, юстировка которых предполагает использование синтезированных голограммных ОЭ, целесообразно задавать дополнительные допуски на точность формы кольцевых рабочих поверхностей зеркал, используемых при юстировке.

3. Использование разработанных методик позволяет создавать многоспектральные системы для работы в неблагоприятных климатических условиях и обеспечивать контроль состояния газовой среды и покрытий оптических элементов в ИК ОМС.

4. При проектировании ИК ОМС перспективным направлением является использование селективных покрытий и устройств для микросканирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Obraztsov V. S., Ageichik A. A., Larionov N. P., Lebedev O. A. Lukin A. V., Solk S. V.* Alignment of Cassegrain telescope with Epps—Shulte focus // The 9th Intern. Symp. on Measurement Technology and Intelligent Instruments. St. Petersburg, 2009. Vol. 3. P. 233—237.
2. *Лебедев О. А., Сабинин В. Е., Солк С. В.* Крупногабаритный многоспектральный объектив // Оптич. журн. 2011. Т. 78, № 11. С. 24—27.
3. *Сабинин В. Е., Солк С. В., Лебедев О. А.* Одноэлементный трехдиапазонный спектроделитель // Оптич. журн. 2011. Т. 78, № 6. С. 20—22.
4. *Солк С. В., Лебедев О. А.* Инфракрасный термонерасстраиваемый объектив // Оптич. журн. 2012. Т. 79, № 12. С. 38—40.
5. *Васильева Л. В., Лебедев О. А., Нужин В. С., Солк С. В.* Проектирование и изготовление линзовых объективов для работы в инфракрасной области спектра // Оптич. журн. 2003. Т. 70, № 4. С. 72—75.
6. *Гуревич М. М., Ицко Э. Ф., Середенко М. М.* Оптические свойства лакокрасочных покрытий. СПб: Профессия, 2010. 220 с.
7. *Xingling L, Zhong G, Nianwao D.* A novel imaging system with super resolution // SPIE. 1998. Vol. 3505. P. 102—107.
8. *Cabanski W., Breiter R., Mauk K-H.* Miniaturized high performance staring thermal imaging system // SPIE. 2000. Vol. 4028. P. 208—219.
9. *Медунецкий В. М., Солк С. В.* Опыт применения и перспективы технологии алмазного микрооточения // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 89, № 1. С. 165—170.

Сведения об авторах

- Виктор Михайлович Медунецкий** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: vm57med@yandex.ru
- Сергей Вольдемарович Солк** — канд. техн. наук; ОАО „НИИ ОЭП“, Санкт-Петербург; начальник отдела ИК оптики; E-mail: solk@sbor.net

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.