

Физическая аппаратура

УДК 681.7.067.2:681.78

Лазерно-голографический комплекс для технологического и аттестационного контроля оптических элементов и объективов в инфракрасном диапазоне спектра 3—12 мкм

А. С. Дучицкий, А. В. Лукин, С. В. Маврин, А. Н. Мельников
ФГУП «НПО "Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия

Рассмотрены функциональная схема, особенности работы, преимущества и перспективы использования создаваемого в Федеральном государственном унитарном предприятии «Научно-производственное объединение "Государственный институт прикладной оптики"» (ФГУП «НПО "ГИПО"») лазерно-голографического комплекса для технологического и аттестационного контроля отдельных оптических элементов и объективов в инфракрасном диапазоне спектра 3 – 12 мкм.

Актуальной задачей обеспечения устойчивого производства современных тепловизионных приборов (ТВП) является наличие высокоточных и производительных средств контроля качества их оптической элементной базы и ИК-объективов как самостоятельных модулей в составе ТВП [1].

Существуют несколько методов оценки качества изображения ИК-объективов. В современном оптико-электронном приборостроении наиболее распространенным методом является контроль ТВП в целом по тест-объектам (комплект тепловых миш) путем исследования его температурно-частотной характеристики. Данный метод не позволяет отделить характеристику ИК-объектива от характеристик других модулей ТВП, также способных оказывать существенное влияние на качество изображения.

Технологический и аттестационный контроль качества изображения ИК-объектива, как правило, основывается на применении метода измерения размеров его наименьшего кружка рассеяния и измерения распределения интенсивности в кружке рассеяния. При реализации такого метода требуется наличие сложной системы сканирования с возможностью построения пространственного распределения интенсивности в кружке рассеяния проверяемого объектива [2].

Альтернативным методом оценки оптического качества ИК-объектива выступает интерференционный метод, который обладает наибольшей информативностью, не предъявляет высоких требований к разрешающей способности фотоприемного устройства (ФПУ) и не критичен к нестабильности источника излучения и к неравномерности зональной чувствительности ФПУ по сравнению с упомянутыми выше методами.

Технологический процесс изготовления ИК-объективов включает в себя следующие обязательные операции [1, 2]:

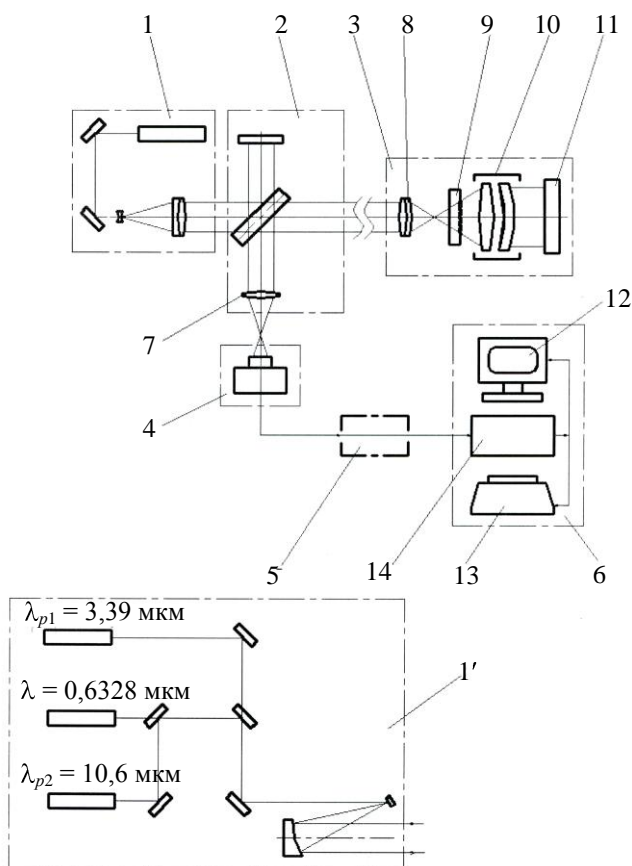
- контроль отдельных оптических элементов (составляющих оптическую схему ИК-объективов), в том числе лазерно-голографический (интерференционный) контроль качества и формы их поверхности;
- контроль ИК-объективов в процессах сборки и юстировки;
- аттестационный контроль ИК-объективов.

Лазерно-голографические методы и средства технологического и аттестационного контроля оптических элементов и объективов в видимом диапазоне спектра применяются в ФГУП «НПО "ГИПО"» уже более трех десятилетий. Разработки в плане решения подобных задач для ИК-диапазона спектра ведутся несколько последних лет. Следует отметить, что в случае интерференционного контроля в ИК-диапазоне, по сравнению с видимым, имеются определенные сложности, связанные с необходимостью визуализации интерференционной картины. Наряду с этим существуют и положительные моменты, состоящие в том, что в ИК-области спектра имеются мощные лазерные источники излучения с высокой степенью когерентности в диапазоне 3—5 и 8—12 мкм. Если оптические элементы или ИК-объективы в целом имеют пропускание в широком диапазоне спектра, то целесообразно при интерференционном контроле использовать наименьшую длину волны из имеющихся источников лазерного излучения, что позволяет достичь наибольшей чувствительности измерений.

Создаваемый в ФГУП «НПО "ГИПО"» лазерно-голографический комплекс предназначен для получения, обработки и автоматической расшифров-

ки интерференционных картин в ИК-диапазонах спектра 3—5 и 8—12 мкм на стадии как технологического, так и аттестационного контроля отдельных оптических элементов и объективов. Обработка интерферометрических данных обеспечивает получение параметров, характеризующих качество исследуемых элементов и объективов: функцию рассеяния, число Штреля, оптическую передаточную функцию, размах отклонений, среднеквадратическое отклонение волнового фронта от расчетных значений и др.

Рассмотрим функциональную схему автоматизированного лазерно-голографического комплекса для технологического и аттестационного контроля отдельных оптических элементов и объективов в ИК-диапазонах спектра 3—5 и 8—12 мкм (рисунок).



Функциональная схема лазерно-голографического комплекса для технологического и аттестационного контроля оптических элементов и объективов в ИК-диапазоне спектра 3—12 мкм:

1 — осветительный блок (линзовый вариант); 1' — осветительный блок (зеркальный вариант); 2 — блок деления-сведения пучков лучей; 3 — блок сигнального (измерительного) канала ИК-интерферометра; 4 — ФПУ; 5 — интерфейс (преобразователь); 6 — компьютерная система с программным обеспечением; 7 — сопрягающий объектив; 8 — формирующий объектив; 9 — синтезированный голограммный оптический элемент; 10 — исследуемый ИК-объектив; 11 — концевое плоское зеркало блока сигнального канала ИК-интерферометра; 12 — монитор; 13 — принтер; 14 — процессор

В состав комплекса входят следующие блоки:

- осветительный блок, включающий в себя три лазерных источника излучения и коллиматор: первый лазерный источник излучения — юстировочный гелий-неоновый лазер с длиной волны $\lambda = 0,6328$ мкм и мощностью излучения $P = 5$ мВт;

- второй — гелий-неоновый лазер с длиной волны измерения $\lambda_{p1} = 3,39$ мкм, одномодовым составом излучения и мощностью излучения $P_{p1} = 10$ мВт;

- третий — газовый CO_2 -лазер с длиной волны измерения $\lambda_{p2} = 10,6$ мкм, одномодовым составом излучения и мощностью излучения $P_{p2} \sim 1$ Вт;

- блок деления-сведения пучков лучей;

- блок сигнального (измерительного) канала ИК-интерферометра;

- ФПУ;

- интерфейс (преобразователь);

- IBM-совместимая компьютерная система (с программным обеспечением) и принтер;

- универсальный юстировочный узел для крепления и юстировки исследуемых ИК-объективов, отдельных оптических элементов или сборок (на рисунке не показан);

- виброизолированное основание (на рисунке не показано).

Инфракрасное лазерное излучение ($\lambda_{p1} = 3,39$ мкм или $\lambda_{p2} = 10,6$ мкм) преобразуется коллиматором осветительного блока (линзовый вариант) в параллельный пучок лучей, который поступает в блок деления-сведения пучков лучей. Там он амплитудно делится светоделительной пластиной на опорный и сигнальный. Сигнальный пучок, преобразованный формирующим объективом и синтезированным голограммным оптическим элементом (СГОЭ), проходит через исследуемый ИК-объектив (или оптический элемент) и концевым плоским зеркалом блока сигнального (измерительного) канала ИК-интерферометра отражается в обратном направлении. Концевое плоское зеркало обеспечивает автоколлимационный ход лучей в ИК-интерферометре. Сигнальный пучок, пройдя светоделитель, совмещается с опорным пучком и образует картину интерференции, которая проецируется сопрягающим объективом с требуемым увеличением на фоточувствительную площадку ФПУ. Информация о форме волнового фронта с ФПУ передается через интерфейс в компьютерную систему в виде массива данных, соответствующих зрачковым координатам центров интерференционных полос.

Программное обеспечение позволяет расшифровывать, анализировать и документировать полученные интерферограммы с распечаткой оптиче-

ских параметров (например, число Штреля, среднеквадратическое отклонение волнового фронта от расчетных значений и т. п.) и графических материалов контролируемых изделий (например, функцию рассеяния точки, функцию передачи модуляции и др.).

Остаточная волновая аберрация оптической системы лазерно-голографического комплекса не превышает 0,05 интерференционной полосы на длине волны измерения.

Общие дефекты ИК-объективов состоят из остаточных аберраций (расчетных аберраций, т.е. не устраненных в результате расчета оптической схемы) и погрешностей волнового фронта, вызванных дефектами технологического происхождения, к которым относятся погрешности сборки и юстировки ИК-объективов и погрешности изготовления составляющих их оптических элементов. Как остаточные аберрации, так и дефекты технологического происхождения носят случайный характер. Поэтому они могут либо взаимно усиливать друг друга, либо частично компенсировать. Интерференционный контроль, положенный в основу работы представленного лазерно-голографического комплекса, обеспечивает получение наиболее полной и оперативной информации о величине и характере дефектов. Он позволяет вы-

явить дефекты технологического происхождения, присущие контролируемому объекту, на фоне его остаточных аберраций, что достигается за счет использования в комплексе СГОЭ (киноформных оптических элементов) [3].

Заключение

Создаваемый лазерно-голографический комплекс на основе использования синтезированных голограммных оптических элементов (киноформов), предназначенный для работы в инфракрасном диапазоне спектра 3—12 мкм, обеспечивает прецизионный, оперативный и наиболее информативный контроль качества отдельных оптических деталей и ИК-объективов на всех заданных стадиях их изготовления и аттестации.

Литература

1. Иванов В. П., Бугаенко А. Г., Лукин А. В., Мельников А. Н., Морозов А. Е. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 91.
2. Иванов В. П., Лукин А. В., Мельников А. Н. // Там же. 2002. № 6. С. 99.
3. Агачев А. Р., Ларионов Н. П., Лукин А. В., Миронова Т. А., Ньюшкин А. А., Протасевич Д. В., Рафиков Р. А. // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 12. С. 23.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Laser-and-holographic complex for technological and certification control of optical elements and objectives in infrared spectral range of 3—12 μm

A. S. Duchitskiy, A. V. Lukin, S. V. Mavrin, A. N. Melnikov
State Institute of Applied Optics, Kazan, Russia

We have considered here a functional layout, peculiarities of operation, advantages and prospectives of using of a laser-and-holographic complex created in Federal State Unitary Enterprise «Scientific-and-Production Association "State Institute of Applied Optics"» (FGUP «NPO "GIPO"»). The complex is intended for technological and certification control of separate optical elements as well as objectives in infrared spectral region of 3—12 μm .