

ИНТЕРФЕРОМЕТРЫ СРЕДНЕГО И ДАЛЬНОГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА ИКИ-3,5 И ИКИ-10

© 2008 г. В. И. Вензель; А. В. Горелов

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: contact@niiki.ru

Описана схема интерферометров для среднего и дальнего инфракрасного диапазона спектра, приведены основные технические характеристики, результаты калибровки интерферометров и примеры контроля инфракрасных оптических систем.

Коды OCIS: 120.3180.

Поступила в редакцию 15.05.2008.

При создании высокоразрешающих светосильных и особо светосильных объективов, работающих в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра, значительное внимание необходимо уделять методам контроля качества изображения, формируемого объективом. Интерферометрический контроль на рабочих длинах волн является наиболее информативным методом, позволяющим оценивать качество изображения по волновому фронту на различных этапах изготовления объективов от контроля материала заготовок из инфракрасных материалов до контроля волнового фронта объективов в сборе. Инфракрасный интерферометр, работающий в диапазоне 8–14 мкм, также может с успехом применяться для контроля формы поверхности шлифованных деталей, в том числе с асферизацией до 100 мкм на стадии формообразования без применения дополнительных элементов (компенсаторов).

Разработка инфракрасных интерферометров имеет ряд особенностей, к числу которых можно отнести следующие:

худшие характеристики просветляющих покрытий в ИК диапазоне спектра, что требует минимизации количества светоделителей и принятия специальных мер по исключению бликов,

большие углы дифракции, что требует сопряжения зрачков и использования оптики, не ограничивающей световые пучки,

большой диапазон ослабления в рабочей ветви интерферометра, что требует регулирования отношения интенсивностей в рабочей и опорной ветвях и регулирования интенсивности источников излучения,

отсутствие лазерных источников с большой длиной когерентности в некоторых спектральных диапазонах, что требует применения равноплечих схем или компенсаторов разности хода.

Разработанные нами с учетом этих особенностей интерферометры для различных ИК диапазонов спектра имеют унифицированную оптическую схему двулучевого неравноплечего интерферометра Тваймана–Грина с клиновидным светоделителем, работающим в параллельных пучках, которая в зависимости от типа используемого источника может включать компенсатор разности хода в опорной ветви интерферометра [1].

Интерферометр является развитием схемы инфракрасного интерферометра, приведенного в [2]. В схему интерферометра дополнительно включены панкратическая проекционная система, ослабитель в опорной ветви и компенсатор разности хода. В качестве фотоприемного устройства используются инфракрасные матрицы, не требующие коррекции геометрических искажений.

На рис. 1 представлена функциональная схема ИК интерферометра. Пучок света от лазера 1, пройдя поворотные зеркала 2 и поляризационный ослабитель 3, попадает на расширитель 4. Расширенный пучок попадает на клиновидный светоделитель 5. Рабочий пучок, пройдя светоделитель 5 и эталонный объектив 10, фокусируется в задней фокальной точке эталонного объектива 10. Далее гомоцентрический сферический фронт, пройдя испытуемый объектив 11 и отразившись от автоколлимационного плоского зеркала 12, вновь собирается в фокальной точке эталонного объектива 10 и преобразуется им в плоский фронт. Отражившись от светоделительной поверхности светоделителя 5, пучок трансформируется телескопической системой 13 во фронт нужного диаметра. Затем он проходит объектив 14 панкратической проекционной системы и попадает на фотоприемное устройство 15. Опорный пучок, отразившись от светоделительной поверхности светоделителя 5, проходит поворотное зеркало,

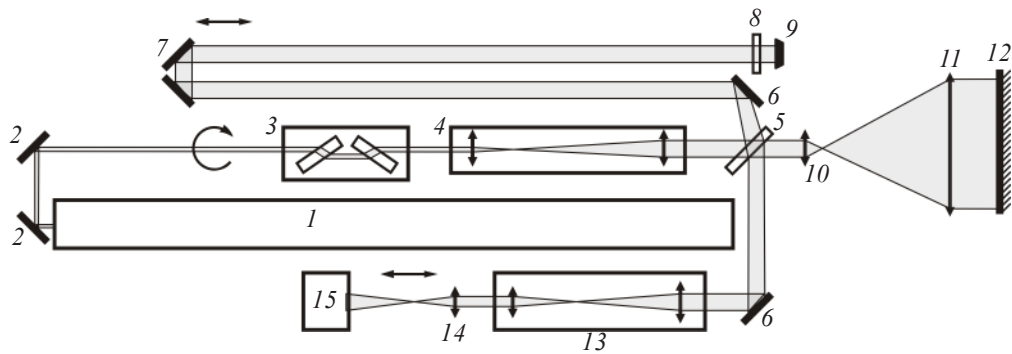


Рис. 1. Инфракрасный интерферометр. Функциональная схема. 1 – лазер, 2 – поворотные зеркала, 3 – поляризационный ослабитель, 4 – расширитель, 5 – клиновидный светоделитель, 6 – поворотные зеркала, 7 – уголкового отражатель, 8 – дифракционный ослабитель, 9 – контрзеркало, 10 – эталонный объектив, 11 – испытуемый объектив, 12 – автоколлимационное плоское зеркало, 13 – телескопическая система, 14 – объектив, 15 – фотоприемное устройство.

уголкового отражателя системы компенсации разности хода 7, дифракционный ослабитель 8 и падает на плоское контрзеркало 9. Отразившись от контрзеркала 9, пучок в обратном ходе проходит ослабитель 8, уголкового отражатель 7, светоделитель 5, трансформируется телескопической системой 13, объективом 14 и интерферирует с рабочим пучком в плоскости фотоприемного устройства (ФПУ) 15.

Поляризационный ослабитель 3 выполнен в виде плоскопараллельных пластин из ZnSe, установленных под углом Брюстера, и имеющих возможность поворота вокруг оптической оси.

Светоделитель 5 изготовлен из пластины ZnSe со светоделительным покрытием, обеспечивающим равное соотношение коэффициентов пропускания и отражения. Для исключения паразитной интерференции пластина светоделителя выполнена в виде клина с углом $1,5^\circ$.

Компенсатор разности хода, работающий в параллельных пучках, используется в опорной ветви интерферометра для уравнивания разности хода в рабочей и опорной ветвях в случае применения источника излучения с малой длиной когерентности. Компенсатор выполнен в виде подвижного уголкового отражателя 7 с контрзеркалом 9, что позволило увеличить диапазон компенсации (при одинаковых размерах) и снизить требования к точности линейной подвижки.

В опорной ветви может быть установлен дифракционный ослабитель 8 в виде сетки, при помощи которого уравниваются интенсивности рабочего и опорного пучков для получения наивысшего контраста интерференционной картины.

Объектив 10, телескопическая система 13 и объектив 14 сопрягают зрачок контролируемого из-

деля 11 с приемной площадкой ФПУ 15. Изменение масштаба изображения осуществляется зависимым перемещением объектива 14 и ФПУ 15. Плавное изменение масштаба от 1 до 3 крат.

Контрзеркало 9 является сменным и имеет различные коэффициенты отражения для уравнивания интенсивностей интерферирующих пучков. При контроле шлифованных поверхностей в длинноволновом диапазоне спектра контрзеркалом является плоская шлифованная пластина.

Для исключения влияния полевых aberrаций высокоапертурного эталонного объектива 10 настройка интерферометра на полосы конечной ширины осуществляется наклонами автоколлимационного зеркала 12, при этом контрзеркало 9 установлено таким образом, чтобы при настройке на центр поля зрения объектива 10 в плоскости фотоприемника наблюдалось 15–20 интерференционных полос.

Интерферометры комплектуются двумя сменными объективами с относительными отверстиями 1:1 и 1:3.

В качестве источника излучения в интерферометре ИКИ-10 для дальнего ИК диапазона спектра используется волноводный одночастотный CO_2 -лазер мощностью 1,5 Вт, работающий на длине волны 10,6 мкм. Компенсатор разности хода в данном интерферометре не используется в связи с большой длиной когерентности лазера. В качестве фотоприемника используется неохлаждаемая пироэлектрическая матрица формата 320×240 элементов.

В качестве источника излучения в интерферометре ИКИ-3,5 среднего ИК диапазона спектра используется гелий-неоновый многомодовый лазер мощностью 15 мВт, работающий на длине волны 3,39 мкм.

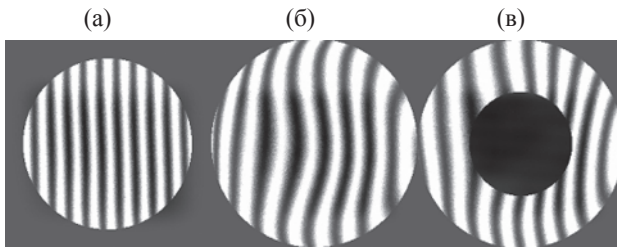


Рис. 2. Интерферограммы эталонного вогнутого зеркала с относительным отверстием 1:1 (а), линзового объектива с относительным отверстием 1:1,2 (б) и зеркально-линзового объектива с относительным отверстием 1:2 (в) на длине волны 3,39 мкм.

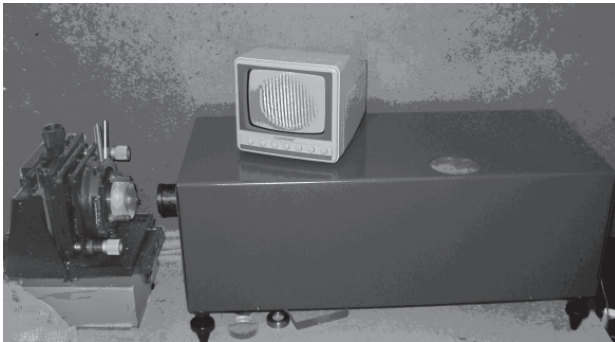


Рис. 3. Общий вид инфракрасного интерферометра ИКИ-10.

В качестве фотоприемника используется охлаждаемая ПЗС-матрица из силицида платины формата 320×240 элементов.

Интерферометры ИКИ-10 и ИКИ-3,5 используются при контроле волнового фронта линзовых и зеркально-линзовых объективов в автоколлимационной схеме с плоским зеркалом (рис. 1).

На их основе создана установка для интерферометрического контроля заготовок из инфракрасных материалов, где в качестве коллиматора используется внеосевое параболическое зеркало световым диаметром 210 мм.

Основные технические данные интерферометров

Параметр/тип интерферометра	ИКИ-3,5	ИКИ-10
Длина волны, мкм	3,39	10,6
Относительное отверстие объектива	1:1, 1:3	1:1, 1:3
Увеличение, крат	1–3	1–3
Формат приемника, эл.	320×240	320×240
Погрешность измерений	$\lambda/10$	$\lambda/10$
Повторяемость измерений (<i>PI</i>)	$\lambda/25$	$\lambda/25$
Габаритные размеры, мм	1100×350×275	600×250×200
Масса, кг	46	32

Калибровка ИК интерферометров проводится при помощи эталонного вогнутого зеркала, размах волновой ошибки которого не превышает 0,1 длины волны 0,63 мкм.

При контроле оптических систем результат калибровки (систематическая ошибка интерферометра) вычитается из каждого результата измерения.

Повторяемость результатов измерений интерферометров составляет 0,04 рабочей длины волны, погрешность измерений не превышает 0,1 рабочей длины волны.

На рис. 2 приведены интерферограммы, полученные при контроле оптических систем с помощью интерферометра ИКИ-3,5 на длине волны 3,39 мкм.

Основные технические характеристики интерферометров приведены в таблице.

Общий вид интерферометра ИКИ-10 приведен на рис. 3. Интерферометр ИКИ-3,5 имеет аналогичную конструкцию несколько больших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вензель В.И., Горелов А.В. Инфракрасный интерферометр // Патент России № 69982. 2007.
2. Вензель В.И., Горелов А.В., Кувшинов Н.Г. Инфракрасный интерферометр на длину волны 10,6 мкм // Оптический вестник. 1999. № 99. С. 15–16.