

И.А. Водоватов, И.В. Маклаков, Ю.С. Музалевский
(Институт аналитического приборостроения АН СССР,
Ленинград)

**ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ФОРМЫ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
С МАЛЫМИ РАДИУСАМИ КРИВИЗНЫ**

Современное развитие оптической техники обусловило разработку новых методов и приборов интерферометрического контроля формы поверхности микролинз.

Наиболее подходящей схемой интерферометра для контроля микролинз с большой угловой апертурой является неравноплечный интерферометр автоколлимационного типа. Это связано с тем, что обычные схемы микроинтерферометров обеспечивают глубину резкости не более 5 мкм, что существенно меньше стрелки прогиба акустической линзы. Кроме того, малые размеры контролируемой поверхности приводят к повышенной чувствительности интерференционной картины, к вибрациям и турбулентности воздуха, что имеет место в интерферометрах с разнесенными плечами, как например, в ИЗК-58М [1]. Среди известных схемных решений автоколлимационных неравноплечных интерферометров наибольший интерес представляют модификации интерферометра Физо для контроля сферических поверхностей [2-4], и особенно интерферометр КЮ-211 [5], позволяющий контролировать поверхности с радиусами кривизны от 13 до 60 мм.

Основной особенностью интерферометра КЮ-211 является наличие концентрического мениска, расположенного между объективом и контролируемой поверхностью. Одна из поверхностей мениска используется в качестве эталонной, и центр ее кривизны совпадает с центром кривизны исследуемой поверхности. Именно применение такого мениска позволило получить прибор, контролирующий относительно крутые поверхности, достаточно стабильный и не требующий набора эталонных поверхностей при контроле поверхностей с разными радиусами кривизны. Тем не менее очевидно, что для дальнейшего снижения минимального контролируемого радиуса кривизны при расширении угловой апертуры требуются специальные технические решения.

Разработанный интерферометр позволяет уменьшить минимальный контролируемый радиус кривизны на два порядка и пригоден для контроля формы поверхности микролинз акустических микроскопов.

Такая линза, фокусирующая гиперзвук на исследуемом объекте, представляет собой вогнутую сферическую поверхность на торце звукопровода из ориентированного кристалла сапфира, граната и т.п. Акустическая связь между линзой и объектом осуществляется посредством иммерсионной жидкости, в качестве которой обычно используется вода. Поскольку скорость распространения гиперзвука в воде почти на порядок меньше этого параметра в кристаллах, именно вогнутая сферическая поверхность в кристалле преобразует плоскую волну в сходящуюся сферическую, фокусируя гиперзвук на объекте. Существенные потери гиперзвука на частотах порядка 1 ГГц в воде (при комнатной температуре — порядка 220 дБ/мм) являются основной причиной необходимости сокращения радиуса кривизны фокусирующей поверхности, так как при этом уменьшается толщина слоя воды, через который проходит гиперзвук. Особенности взаимодействия сходящегося акустического поля с исследуемым объектом (формирование поверхностных волн Релея и т.д.), а также требования повышения контраста изображения в акустическом микроскопе, требуют увеличения центральной угловой апертуры акустической линзы [6].

Допустимое отклонение формы вогнутой поверхности на кристалле от идеальной связано с длиной волны гиперзвука в иммерсионной среде. Для частоты 1.5 ГГц в воде длина волны оказывается порядка 1 мкм и требования к чистоте и форме поверхности фактически соответствуют требованиям, предъявляемым к оптическим деталям (шероховатость поверхности $R < 0.1$ мкм, чистота обработки — 13 класс, отклонение формы от идеальной порядка длины волны).

Таким образом микролинзы акустических микроскопов должны удовлетворять следующим требованиям:

радиус кривизны поверхности.	от 40 до 200 мкм;
полный центральный угол.	от 30 до 120°;
диаметр линзы.	от 50 до 300 мкм;
стрелка по оси.	от 30 до 150 мкм.

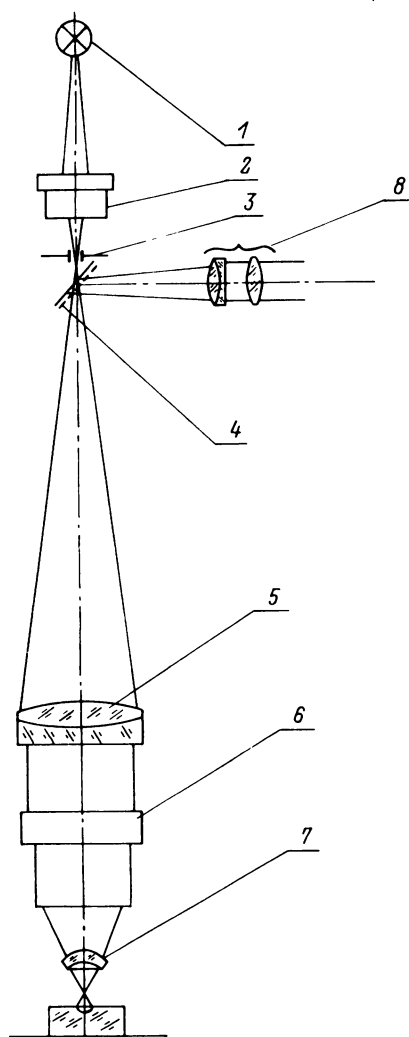


Рис. 1. Оптическая схема интерферометра для контроля микролинз

При этом форма вогнутой сферической поверхности должна контролироваться с точностью до 0.1 длины акустической волны.

Существенное уменьшение радиуса контролируемой поверхности возможно лишь в том случае, если объектив интерферометра строит изображение точки, освещающей контролируемую поверхность, достаточно малого размера, чтобы получить отраженный сферический фронт без дополнительных искажений. Это приводит к необходимости использовать микрообъектив с высокой разрешающей способностью, большой угловой апертурой, достаточно большим передним отрезком и желательно безиммерсионный. Совокупности таких требований не удовлетворяет ни один из известных микрообъективов. Нами предложено использовать микрообъектив с угловой апертурой порядка 0.5 совместно с мениском, но не концентрическим, а апланатическим. Известно [7], что апланатический мениск позволяет расширить угловую апертуру микрообъектива без внесения дополнительных аберраций.

На рис. 1 изображена оптическая схема интерферометра, в которой учтены приведенные выше соображения. Пучок света от монохроматического источника света 1 (лазера) фокусируется

конденсорной линзой 2 на диафрагму 3, служащую для формирования первичного точечного источника света. Полупрозрачная пластинка 4 необходима для деления светового пучка в обратном ходе. Объектив-коллиматор 5 создает параллельный пучок света, направляемый в автоколлимационный объектив 6. Поверхность мениска 7, обращенная к объективу 6, является апланатической, а вторая поверхность, являющаяся эталонной, — концентрической. Объектив 6 совместно с мениском 7 создают сходящийся сферический волновой фронт, причем свет, отраженный от концентрической поверхности мениска, формирует опорный волновой фронт интерферометра.

Контролируемая поверхность располагается так, чтобы ее центр кривизны совпал с центром кривизны эталонной концентрической поверхности мениска 7. В этом случае контролируемая поверхность равномерно освещается точечным источником света, и отраженный пучок, проходя в обратном ходе тот же путь, интерферирует с опорным волновым фронтом. Интерференционная картина, таким образом, оказывается локализованной на поверхности мениска и может наблюдаться оптической системой 8.

Интерферометр, изображенный на рис. 1, позволяет получать интерферограммы бокового и радиального сдвига. Интерферограмма бокового сдвига имеет вид прямых полос (в случае идеально сферической контролируемой поверхности), ориентированных перпендикулярно направлению сдвига. Величина среднеквадратичного отклонения интерференционных полос от прямой линии позволяет по известным методикам оценивать качество контролируемой поверхности, т.е. получать усредненное отклонение исследуемой поверхности от идеальной сферы. Интерферограммы радиального сдвига имеют вид концентрических колец. Расстояния между кольцами и форма этих колец позволяют оценить величины отклонения контролируемой поверхности от сферы. В случае идеальной сферы диаметр кольца пропорционален как величине радиального сдвига (дефокусировке), так и квадратному корню от номера кольца, считая от центра. Нарушения последней закономерности указывают на локальные отклонения контролируемой поверхности от сферы. Если дефокусировка отсутствует, а контролируемая сфера идеальна, то в поле зрения интерферометра будет равномерно освещенное поле — нулевая полоса интерференции.

С помощью рассматриваемого интерферометра можно измерять радиус кривизны контролируемой поверхности. Он получается как разность отсчетов двух положений интерферометра относительно контролируемой поверхности: одного — при наблюдении

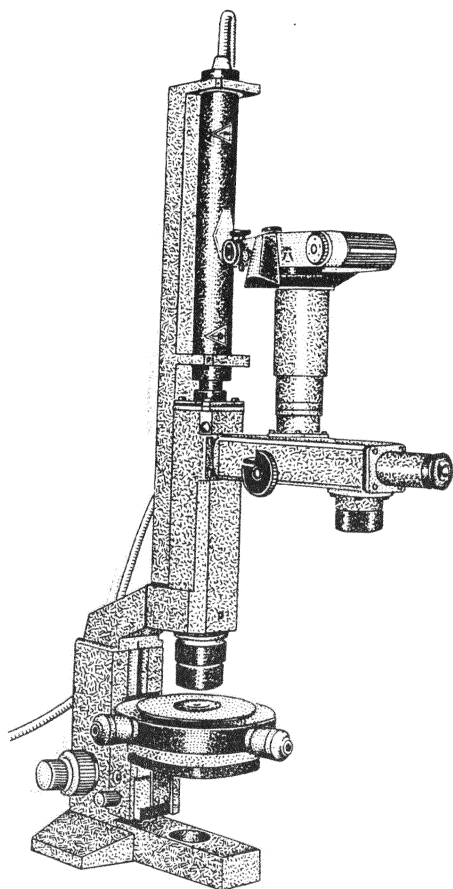


Рис. 2. Общий вид макета интерферометра

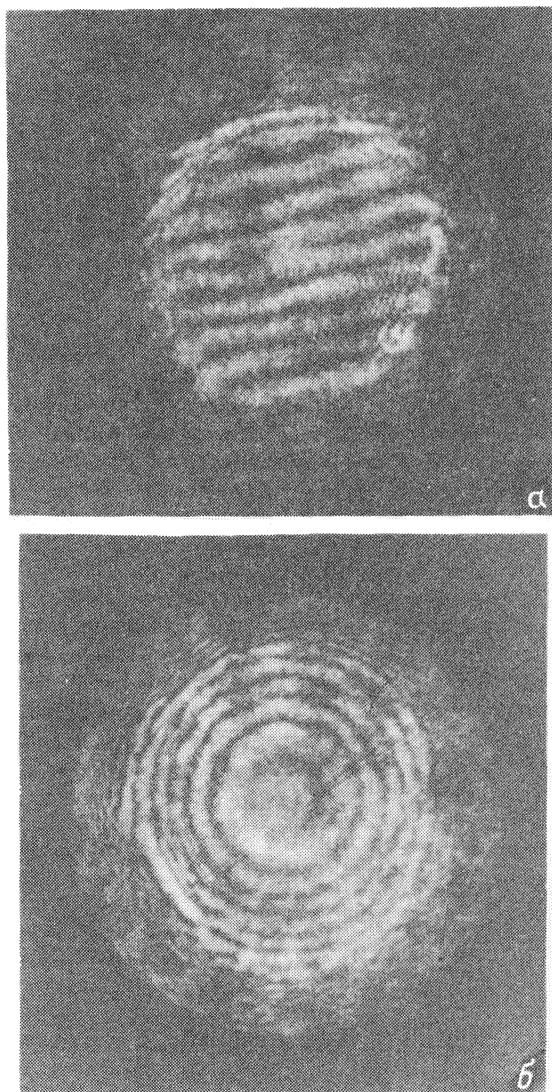


Рис. 3. Интерферограммы сдвигов вогнутой сферической поверхности с радиусом кривизны 0.135 мм: а — бокового сдвига; б — радиального сдвига

нулевой полосы интерференции (светящаяся фокальная точка, построенная объективом 6 и мениском 7, в центре кривизны), и другого — при наблюдении самой контролируемой поверхности как в обычный микроскоп (фокальная точка точно на поверхности).

В качестве источника света использован гелий-неоновый лазер ЛГ-207Б. Автоколлимационным объективом интерферометра служит микрообъектив МАШ-1 с апертурой 0.5 и большим перед-

ним отрезком (порядка 16 мм). Апланатическая поверхность мениска имеет радиус кривизны 4.8 мм, а концентрическая, эталонная поверхность — 5 мм. В макете использован предметный столик от микроинтерферометра МИИ-4 с трехкоординатной подвижкой объекта. Счетные устройства позволяют измерять фокусные расстояния контролируемых линз и вводить радиальный сдвиг с точностью не хуже 2 мкм и вводить боковой сдвиг с точностью 5 мкм.

Кроме описанных выше функций оптическая схема макета интерферометра позволяет получать изображение точки, формируемой объективом 6 совместно с мениском 7, и фотографировать поле зрения микроскопа (в сопряженном оптическом канале) на фотопленку шириной 35 мм.

Качество изображения микрообъектива МАШ-1 позволяет контролировать линзы с минимальным радиусом кривизны порядка 50 мкм. Принципиально максимальный радиус кривизны, измеряемый интерферометром, не ограничен, но существующая конструкция макета позволяет работать с вогнутыми поверхностями, имеющими радиус кривизны до 20 мм. Эта величина перекрывает нижнюю рабочую границу интерферометра КЮ-211.

Большой передний отрезок микрообъектива МАШ-1 позволяет контролировать и выпуклые поверхности с радиусами кривизны от 50 мкм до примерно 2 мм. Это существенно расширяет функциональные возможности интерферометра.

На рис. 2 приведен общий вид макета. На рис. 3, а представлена интерферограмма бокового сдвига для вогнутой поверхности, а на рис. 3, б — интерферограмма радиального сдвига для той же поверхности. В качестве объекта контроля использовался технологический образец акустической линзы в сапфировом звуковводе с радиусом кривизны 0.135 мм и полной угловой апертурой порядка 100°.

Известный интерес может представить возможность автоматизации регистрации интерферограммы посредством матрицы фотоприемников для последующей обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломийцев Ю.В. Интерферометры. — Л. — 1976. — С. 53.
2. Pat. 851289 (USA).
3. Pat. 3402633 (USA).
4. Губель Н.Н., Духонел И.И. и др. // Оптико-механическая промышленность. — 1973, № 1. — С. 32.
5. Губель Н.Н., Духонел И.И. и др. Там же. — С. 33.
6. Bertoni H.L., Somekh M.G. Ray-optical analysis of spherical focusing transducer for acoustical microscopy. Proc. 1985 Ultra Sonics Symp. — P. 715-719.
7. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. — М., 1966. — С. 510-518.