

**ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭЛЕМЕНТЫ И СИСТЕМЫ**

УДК 555.411

**ИНТЕРФЕРОМЕТР ФИЗО БЕЗ ДЕСТРУКТИВНЫХ
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛОС И СПЕКЛОВ**

В. П. Коронкевич, А. И. Лохматов, А. Е. Маточкин, А. Р. Герент

*Институт автоматки и электрoметрии СО РАН, г. Новосибирск
E-mail: matochkin@iae.nsk.su*

Для задач интерферометрического контроля плоскопараллельных оптических пластин рассмотрена возможность снижения глубины области интерференции в схеме интерферометра Физо с полупроводниковым лазером.

В данной работе исследован интерферометр Физо, предназначенный для определения формы поверхности плоских пластин. В отличие от традиционных схем в качестве источника излучения в приборе использовался полупроводниковый лазер, ширину спектра которого можно регулировать, снижая глубину области интерференции и контраст нерабочих интерференционных картин.

В практике интерферометрии мешающие (деструктивные) интерференционные полосы, возникающие от нерабочих поверхностей контролируемых пластин, устраняют обычно, покрывая эти поверхности поглощающими излучение красками. Такой традиционный способ не очень удобен из-за увеличения времени контроля. Для влагопоглощающих поверхностей, например кристаллов, он просто непригоден. Можно выбрать другой путь: снизить контраст нерабочих картин за счет управляемого уширения спектра источника излучения.

Целью данной работы является интерферометрический контроль тонких плоскопараллельных оптических деталей.

Обратимся к традиционной схеме интерферометра Физо [1], представленной на рис. 1. Ее основу составляет оптическая пластина 9 высокого качества (эталон), с поверхностью которой сравнивается контролируемая поверхность испытываемой пластины 10. Сравнение осуществляется по интерференционным полосам равной толщины, локализованным на поверхности пластин. Образование рабочих полос показано стрелками, символы a , b и c указывают на пучки, которые создают деструктивные (нерабочие) интерференционные полосы.

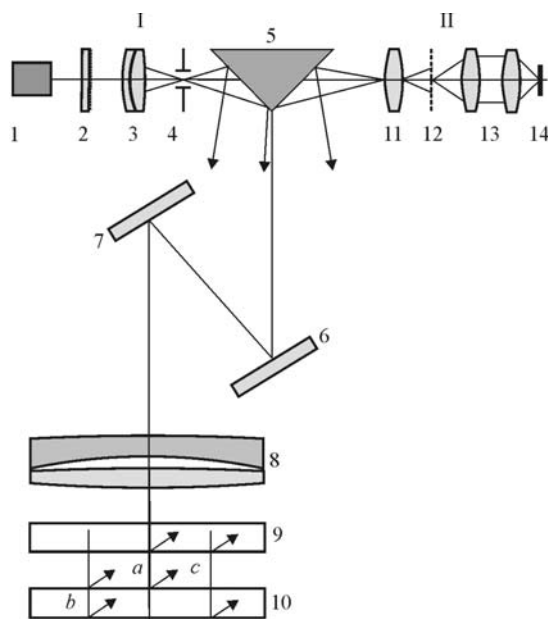


Рис. 1

Пластины освещаются через коллимирующий объектив блоком осветителя I. Отраженный пучок воспринимается выходной фотоприемной системой II (11–14). Для сокращения габаритов прибора в схему введены зеркала 6 и 7. Призма 5 служит разделительно-приемным зеркалом для освещающих и отраженных лучей. Освещение и прием излучения ведутся в косых пучках. Вносимые при этом в результаты измерения ошибки имеют второй порядок малости и не принимаются во внимание.

Источником излучения для интерферометра служит полупроводниковый лазер 1 ($\lambda = 0,65$ мкм). Он освещает вращающееся матовое стекло 2, установленное для устранения спеклов и косметических шумов, возникающих на пылинках и дефектах компонентов. Освещенное пятно проектируется конденсатором 3 на входную диафрагму интерферометра 4. Диафрагма выполняет роль входного зрачка. Обычно для удаления спеклов вращающееся матовое стекло устанавливают в плоскость, оптически сопряженную с полем интерференции, т. е. с изображениями эталонной и контролируемой пластин и рабочими полосами равной толщины, локализованными между ними. Установка матового стекла в плоскость зрачка 4 дает тот же эффект.

Для устранения нерабочих полос *b* и *c* можно снизить глубину области интерференции путем увеличения размеров входного зрачка или уширения спектра полупроводникового лазера, например, изменяя его ток питания. Глубина области интерференции *t* определяется следующим образом [2]:

$$t = \lambda(1/(4\Theta^2)), \quad (1)$$

$$t = \lambda(\lambda/(2\Delta\lambda)), \quad (2)$$

где λ – длина волны; $\Theta = r/f$ – угловой размер зрачка входа (*r* – его радиус, *f* – фокус коллимирующего объектива 8); $\Delta\lambda$ – величина уширения спектра.

Если интерферирующие пучки нерабочих полос проходят через стеклянную пластину, то соотношение (1) умножается на показатель преломления стекла n . Из (1) и (2) видно, что наиболее эффективно уменьшить глубину области интерференции t можно, изменяя $\Delta\lambda$. Незначительное уширение спектра, например на $\Delta\lambda = \lambda/4$, практически приближает глубину области интерференции t к 2λ . Сложнее это сделать за счет увеличения Θ . В традиционных схемах Физо в качестве коллимирующего объектива используют длиннофокусную двухлинзовую систему, исправленную на сферическую aberrацию. Значение Θ для подобных систем очень мало, поэтому существенно снизить глубину интерференции за счет увеличения зрачка входа (диафрагма 4) не удастся.

В данной работе применяли лазер с регулируемым спектром излучения. Отбор лазеров по спектру осуществляли, используя в качестве спектрального прибора эталон Фабри – Перо и стандартную методику определения постоянной эталона [3] в соответствии с соотношением, аналогичным формуле (2):

$$t' = \lambda^2 / (2\Delta\lambda). \quad (3)$$

Здесь t' – толщина эталона Фабри – Перо, который выбран в качестве спектрального прибора благодаря его уникальному свойству – независимости дисперсии от толщины. Для решения задачи применялись лазеры типа LDM 635/05LT фирмы “Roitner Lasertechnik” (Германия). (Выход лазеров других производителей составлял 50 %.) Типичный спектр лазера, необходимый для работы с интерферометром, показан на рис. 2, *a*. При изменении тока питания

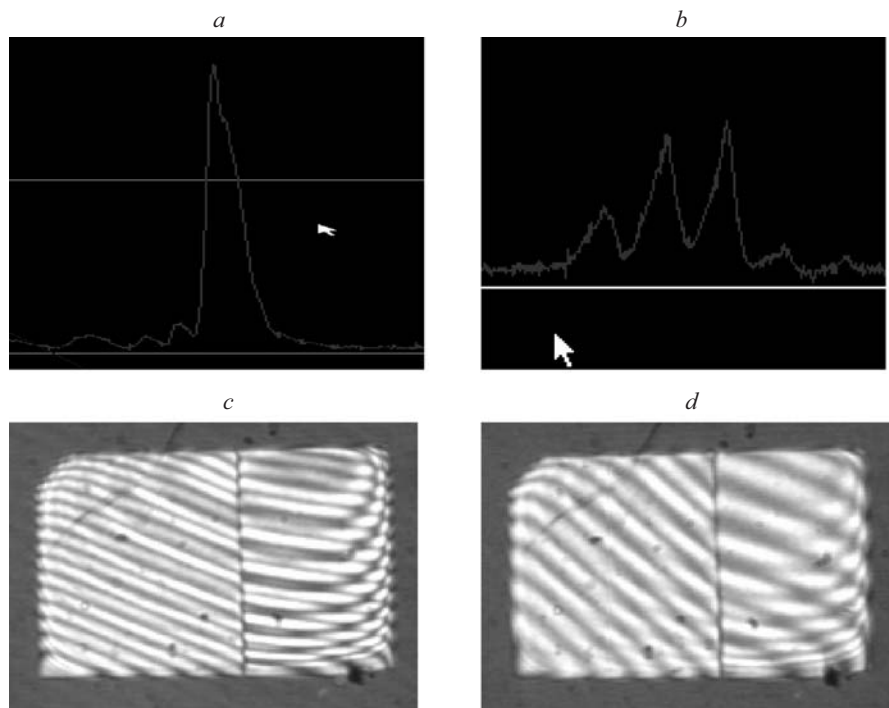


Рис. 2

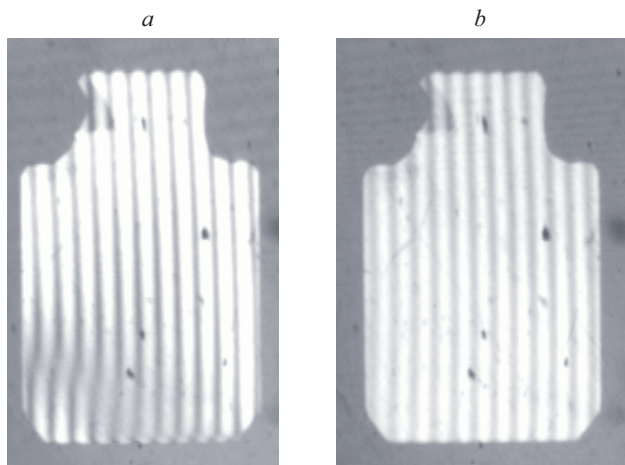


Рис. 3

лазера ширину спектра $\Delta\lambda$ можно увеличить в 4–5 раз (рис. 2, *b*) по отношению к одномодовому режиму.

На рис. 2, *c* представлены полосы, соответствующие наблюдаемому спектру. Согласно соотношению (2) происходит изменение глубины области интерференции и снижение контраста полос (рис. 2, *d*). Меняя ток питания лазера, можно снижать контраст и смещать полосы типа *b* (см. рис. 1), а сокращая расстояние между эталоном и рабочей пластиной, увеличивать контраст рабочих полос.

Этот эффект хорошо проявился в практике контроля плоскопараллельной пластины (рис. 3, *a*), имеющей клин в пределах $\lambda/2$ по всему полю. Деструктивную полосу можно перемещать по полю, меняя ток лазера, выводить за поле (рис. 3, *b*) и точно измерять по ее перемещению величину клина пластины.

Поле интерференции без вращающейся матовой пластины представлено на рис. 4, *a*. С ее введением четко видно удаление косметических шумов (рис. 4, *b*).

Особое внимание было уделено исследованию точностных характеристик и аттестации интерферометра. Рабочая поверхность пластины 9 (см.

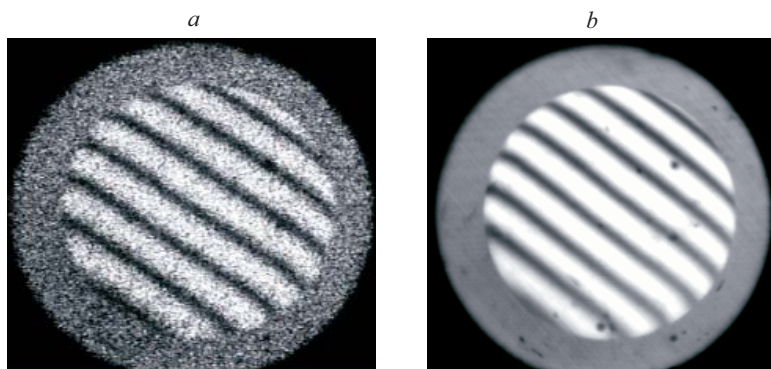


Рис. 4

рис. 1) сравнивалась на интерферометре фирмы “Zygo” с поверхностью образцовой пластины (эталоны) этой же фирмы. Максимальное отступление от плоскости (PV) составляло $0,049\lambda$ при среднеквадратической погрешности (RMS), равной $0,011\lambda$. При сравнении поверхностей по полосам равной толщины не было отмечено изгиба или деформации полос. Это позволило считать, что погрешность формы поверхности исследуемого нами прибора лежит в пределах $\lambda/10$.

Сложнее было аттестовать прибор в целом, так как искажения могли вносить абберации объектива, вызванные некачественной сборкой и погрешностью зеркал 6 и 7 (см. рис. 1). Для выявления этих погрешностей эталонная пластина “Zygo” была установлена в интерферометре на место испытываемой пластины. При минимальной разности хода между пластиной “Zygo” и поверхностью пластины 9 не было замечено отступлений от плоскости. При разности хода от 5 до 100 мм появились сильные искажения полос, достигающие до значения 2λ , что является недопустимым. Наблюдаемый дефект удалось устранить благодаря переюстировке объектива путем исправления и аттестации поворотных зеркал 6 и 7. Зеркала были аттестованы на интерферометре “Zygo” после крепления в оправы. Искажения не превышали значения $\lambda/20$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коломийцев Ю. В. Интерферометры. Л.: Машиностроение, 1976.
2. Захарьевский А. Н. Интерферометры. М.: ГИОМ, 1952.
3. Зайдель А. Н., Островская Г. В., Островский Ю. И. Техника и практика спектроскопии. Л.: Наука, 1972.

Поступила в редакцию 12 декабря 2006 г.