
В. П. Коронкевич, Г. А. Ленкова, М. Н. Никитенко, А. Е. Маточкин

(Новосибирск)

ОБ ОДНОЙ СХЕМЕ ДИФРАКЦИОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ОБЩИМ ХОДОМ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИХ ПУЧКОВ

Представлены результаты применения дифракционного интерферометра с зонной пластинкой для контроля сферических поверхностей с центральным отверстием. В выбранной оптической схеме отсутствует инструментальная погрешность. Показано, что интерферограммы, полученные на дифракционном и промышленном (фирмы "Zygo") интерферометрах, практически совпадают (отклонение не более $\lambda/20$).

В работе [1] Смартон проведена классификация дифракционных интерферометров по конструктивному принципу – положению зонной пластинки относительно контролируемого зеркала. Схемы, в которых центр кривизны зеркала совпадает с центром зонной пластинки, ее отрицательным или положительным фокусом, называют 1-й, 2-й и 3-й конфигурациями. Каждая конфигурация может выполняться в двух вариантах в зависимости от вида референтного пучка: сходящийся или параллельный. Для контроля зеркал с центральным отверстием наиболее подходит второй вариант.

В [2] исследована модифицированная 2-я конфигурация Смарта с параллельным референтным пучком. В отличие от схемы Смарта, где каждый из интерферирующих пучков $[0, +1]$ и $[-1, 0]$ проходит и в нулевой $[0]$, и в $+1$ -й или -1 -й порядки дифракции ($[+1]$, $[-1]$), в [2] используются пучки, из которых референтный $[0, 0]$ дважды проходит зонную пластинку без отклонения, а измерительный $[-1, -1]$ дважды дифрагирует в -1 -й порядок. В этом случае зонная пластинка работает как нуль-корректор и интерферометр позволяет контролировать компенсационным методом форму поверхности зеркал, имеющих большую светосилу и высокую асферику. Недостаток этой схемы в том, что для выравнивания по интенсивности рабочих пучков $[0, 0]$ и $[-1, -1]$ и получения контрастной интерференционной картины необходимо применение фазовой зонной пластинки, так как при амплитудной пластинке интенсивности пучков будут отличаться приблизительно в 6 раз. К сожалению, точное изготовление фазовой зонной пластинки связано с серьезными технологическими трудностями. Малейшие отклонения параметров ее дифракционной структуры (глубины профиля и плотности заполнения зон (скважности)) от заданных значений приводят к искажениям волновых фронтов нулевого порядка, генерируемых зонной пластинкой [3], и к изменению интенсивностей интерферирующих пучков [4].

В предлагаемом сообщении приводятся результаты исследования дифракционного интерферометра, предназначенного для контроля сферических зеркал с отверстием в центральной части. Интерферометр построен по второму варианту 2-й конфигурации Смарта, но интерферируют пучки $[+1, 0]$ и $[0, -1]$. Особенность схемы заключается в том, что интенсивности интерферирующих пучков всегда равны друг другу независимо от вида зонной пластинки. Достаточно яркие полосы высокого контраста можно получить, применяя не только фазовую, но также и амплитудную пластинку. В этой схеме референтный и измерительный пучки образуются из одного входящего пучка, т. е. интерферируют неинвертированные волновые фронты, поэтому интерферометр может работать с низкокогерентным источником света, например, таким, как полупроводниковый лазер, что позволяет значительно уменьшить габариты устройства. В отличие от первоначальной схемы Смарта в предлагаемой схеме интерферометр освещается расходящимся пучком (третий вариант), а выходные пучки – параллельные. Преимущество схемы в том, что не требуется коллимирующий объектив, так как его функции выполняет зонная пластинка.

Схема интерферометра представлена на рис. 1. Излучение полупроводникового лазера 1 фокусируется при помощи асферической линзы 2 в переднюю фокальную плоскость зонной пластинки 4. Эта плоскость совмещена с центром кривизны контролируемой сферической поверхности 5. Расходящийся пучок отражается от светоделительной пластины 3 и освещает зонную пластинку 4. После пластинки 4 пучок разделяется на две части: пучки нулевого и +1-го порядков дифракции. Первый пучок, выполняющий роль измерительного, проходит через пластинку 4, не изменяя своего направления, и заполняет апертуру зеркала 5. Второй, параллельный, пучок +1-го порядка, является опорным и направляется к вспомогательному зеркалу 6. После отражения от зеркал 5 и 6 пучки возвращаются к зонной пластинке 4 и совмещаются в плоскости ее дифракционной структуры, причем опорный пучок $[+1, 0]$ проходит пластинку без отклонения, а измерительный $[0, -1]$ дифрагирует в -1 -й порядок. Далее пучки $[+1, 0]$ и $[0, -1]$ проходят объектив 7, выходную диафрагму 8 и объектив 9. Интерференционная картина наблюдается в плоскости фотоматрицы 10.

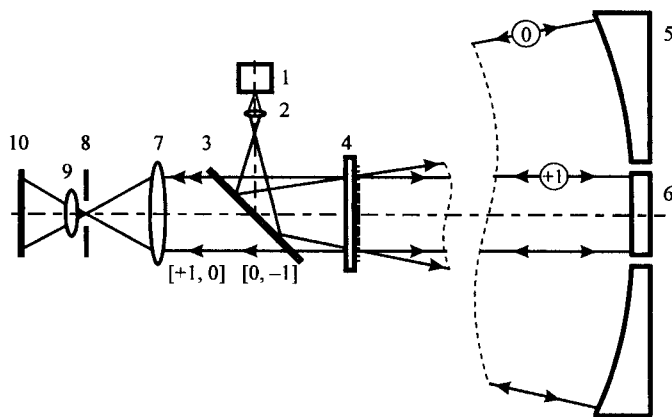


Рис. 1. Оптическая схема дифракционного интерферометра

В процессе контроля блок вспомогательного зеркала 6 жестко соединялся с зеркалом 5. При настройке вспомогательное зеркало смещалось вдоль оптической оси до совпадения с вершиной контролируемой сферы. Наклоны зеркал 5 и 6 можно было производить независимо друг от друга. Это позволяло совмещать выходные зрачки (точки фокусировки) опорного $[+1, 0]$ и измерительного $[0, -1]$ пучков в плоскости диафрагмы 8 и устанавливать в поле интерференции необходимую ширину полос.

Укажем на основные особенности схемы:

– контроль формы поверхности производится из центра кривизны зеркала, а зонная пластинка в опорном и измерительном пучках работает в условиях параллельного пучка, что соответствует расчету ее структуры, поэтому в приборе отсутствует инструментальная погрешность;

– диаметр зонной пластинки и размеры оптических компонентов интерферометра значительно меньше диаметра контролируемого зеркала (в соотношении f/R , где f – фокусное расстояние зонной пластинки, а R – радиус кривизны зеркала);

– поверхность вспомогательного зеркала 6 совмещается с вершиной контролируемой сферической поверхности, что соответствует разности хода интерферирующих пучков, близкой к нулю, и позволяет вести наблюдение полос в квазимонохроматическом свете;

– контраст полос близок к единице, так как интенсивности опорного и измерительного пучков равны между собой.

Экспериментальный образец интерферометра был предназначен для контроля зеркала с диаметром $D = 200$ мм и радиусом кривизны $R = 927$ мм. Применялась амплитудная зонная пластинка с $d = 25$ мм и $f = 100$ мм (d и f – диаметр и фокусное расстояние), изготовленная по технологии прямой лазерной записи [5]. Волновой фронт, генерируемый пластинкой, контролировался на промышленном интерферометре фирмы "Zygo". Отступление формы волнового фронта от идеальной сферы в центре пластинки не превышало $\lambda/20$. Периферийная часть пластины имела искажения, связанные с нарушением скважности зон, но эта часть при измерениях диафрагмировалась.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2. Так как полупроводниковый лазер имеет низкую когерентность, то первоначально необходимо было выравнять длины плеч интерферометра. Эта операция проводилась при работе лазера в режиме ниже порога генерации. Нулевая разность хода устанавливалась путем перемещения вспомогательного зеркала 6 и достигалась, когда контраст полос (или колец) вблизи центра интерференционной

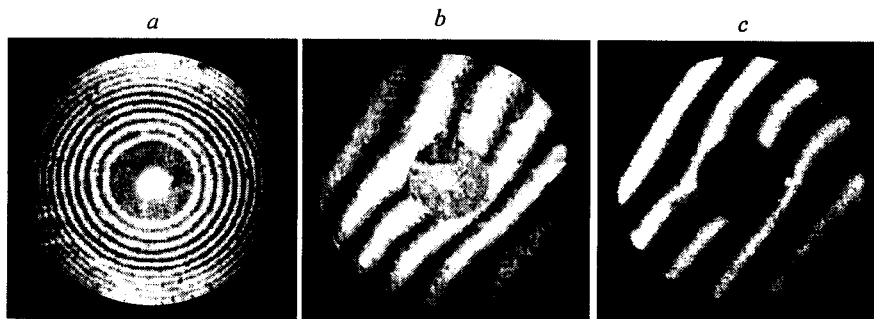


Рис. 2. Интерферограммы, полученные на дифракционном интерферометре (a, b) и на интерферометре фирмы "Zygo" (c)

картины становился максимальным (рис. 2, *a*). После предварительной юстировки производилось измерение отклонения формы поверхности от сферической. На рис. 2, *b, c* показаны интерферограммы одного и того же зеркала, полученные на дифракционном интерферометре и на интерферометре фирмы "Zygo" соответственно. Из сравнения интерферограмм видно, что в пределах погрешностей приборов ($\lambda/20$) результаты измерения (форма полос) хорошо согласуются между собой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smartt R. N. Zone plate interferometer // Appl. Opt. 1974. 13. P. 1093.
2. Honda T., Kawamoto Y., Guan H. et al. Zone plate null interferometer for measuring aspherical mirror with large aperture // Proc. SPIE. 1992. 1720. P. 305.
3. Chang Y.-C., Burge J. Error analysis for CGH optical testing // Proc. SPIE. 1999. 3782. P. 358.
4. Ленкова Г. А. Особенности распределения интенсивности в дифракционном спектре амплитудно-фазовых решеток // Автометрия. 1992. № 5. С. 14.
5. Коронкевич В. П., Корольков В. П., Полещук А. Г. Лазерные технологии в дифракционной оптике // Автометрия. 1998. № 6. С. 5.

*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН,
E-mail: lenkova@iae.nsk.su*

*Поступило в редакцию
29 марта 2002 г.*