

**ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ  
ДЕЛЕНИЕМ ВОЛНОВОГО ФРОНТА**

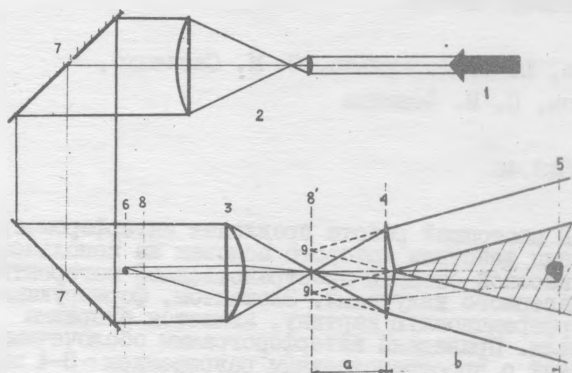
А. Е. Данилов, Ю. А. Меркульев, С. М. Савченко,  
Г. В. Склизков, С. И. Федотов

УДК 543.46

В настоящей работе предложен интерферометр, принцип действия которого основан на использовании высокой степени пространственной когерентности лазерного излучения. Элементом, формирующим интерференционную картину, является бипризма Френеля. Приведены интерферограммы оболочечных мишеней с пространственным разрешением  $\sim 3-4$  мкм.

В настоящее время лазерная интерферометрия /1,2,3/ находит широкое применение при исследовании различных быстропротекающих процессов /4/, а также для исследования и контроля микрообъектов /5/. Наиболее широкое распространение получили интерферометры Жамена /6,7,8/, Маха-Цендера /9,10,11/ и ряд других /12/. Все эти интерферометры, несмотря на существенные различия в схемах и конструктивных особенностях, основаны на одном общем принципе — интерференционная картина формируется путем наложения в плоскости изображения объекта волновых фронтов, распространяющихся по двум различным плечам интерферометра. При этом исследуемый объект помещается в одно из плеч интерферометра. В этом случае интерференция создается эквивалентными источниками, размеры которых зависят от качества формирующей оптики, параметров пучка и характеристик объекта. Чем больше эквивалентный источник приближается к точечному, тем более качественную интерференционную картину мы получим в плоскости изображения. Интерферирующие пучки в таких системах формируются путем деления волнового фронта по амплитуде, т.е. используется временная когерентность лазерного излучения. Альтернативой является использование в тех же целях прост-

равственной когерентности просвечивающего излучения. С этой целью в настоящей работе предлагается интерферометр, принцип действия которого основан на высокой степени пространственной когерентности лазерного излучения /13/. Интерференция в нем осуществляется между двумя половинами лазерного пучка (рис. 1). Исследуемый объект помещается в одну половину лазерного пучка (рабочую),



Р и с. 1. Схема эксперимента

другая же остается свободной и служит опорной. Изображение объекта формируется объективом 3. Элементом, формирующим интерференционную картину является бипризма Френеля 4, помещенная за фокусом объектива. Бипризма формирует два изображения эквивалентного точечного источника, между которыми и осуществляется интерференция. Размер источников и их когерентные свойства определяются характеристиками лазерного пучка и качеством объектива. В данном интерференционном устройстве полосы локализованы на оси системы и имеют на ней максимальный контраст. Перемещая бипризму по оси системы, можно получать в плоскости объекта различную ширину полос.

Рис. 1 иллюстрирует также схему эксперимента. Излучение He-Ne-лазера (1), отколлимированное с помощью коллиматора (2), направляется на объектив (3). В наших экспериментах использовался высококачественный микроскопический объектив  $f = 3,7$  мм с диаметром входного зрачка  $d = 8$  мм, который работал с коэффициентом увеличения  $k = 40$ . Предельное разрешение этого объектива  $\gamma \approx 1,6$  мкм. За объективом на оси системы помещалась би-

призма Френеля (4) с углом между гранями  $174^\circ$ . Интерферограмма регистрировалась с помощью фотопленки "микрат-300", разрешение которой было достаточно для надежной регистрации интерферограммы (5).

Проанализируем возможности данного интерферометра с точки зрения получения максимальной информации об исследуемом объекте. Разрешающая способность высококачественного объектива определяется в основном дифракцией на его апертуре  $/14/$ . Тогда для ширины полосы в плоскости изображения получим

$$e \approx (0,61\lambda N/nd) \sqrt{k^2 d^2 + f^2 (k+1)^2},$$

где  $k$  - коэффициент увеличения системы,  $d$  - диаметр входного зрачка объектива,  $f$  - его фокусное расстояние,  $N$  - число разрешаемых элементов на полосе,  $n$  - показатель преломления среды между объектом и объективом.

В целях повышения достоверности результатов наблюдений представляется целесообразным привязываться не к какому-либо уровню интенсивности полосы, а к ее максимуму, при этом  $N = 1$  и ширина полосы связана с коэффициентом увеличения системы неравенством

$$e \approx (0,61\lambda/nd) \sqrt{k^2 d^2 + f^2 (k+1)^2}. \quad (I)$$

В то же время ширина полосы в плоскости изображения должна быть не меньше разрешающей способности регистратора  $\gamma$  (фотопленка, катод ЭОПа и т.д.).

$$e \approx 2+3 \gamma \quad (2)$$

Таким образом, определяя ширину полосы в плоскости изображения из условия (2), по формуле (I) находим коэффициент увеличения системы  $k$

$$k \approx [\sqrt{s(sc+c-1)} - 1] / (s+1), \quad (Ia)$$

где  $s = (d/f)^2$  - светосила объектива, а  $c = (en/0,61\lambda)^2$ . Знак равенства в формуле (I) соответствует ситуации, когда одному разрешающему элементу на объекте соответствует одна полоса.

Определим оптимальную геометрию расположения элементов интерферометра, а именно расстояние от объектива до бипризмы  $(f+a)$  и от бипризмы до регистратора  $b$  (рис. I). Ширина полосы  $e$  связана с углом между интерферирующими лучами  $\alpha$  известной формулой  $e = \lambda/\alpha$   $/15/$  или, в нашем случае  $e = \lambda f k / 2atg[(n-1)\sigma]$ , здесь

$\sigma$  - угол бипризмы,  $n$  - показатель преломления вещества бипризмы. Отсюда определяем расстояние

$$a = \lambda f k / 2 \operatorname{ctg} [(n - 1)\sigma].$$

Расстояние  $b$  от бипризмы до регистратора определяется из следующих соображений. Обозначим поле зрения объектива интерферометра  $2\Delta$ . В плоскости изображения необходимо совместить "центры полей зрения" обеих половин пучка, при этом центры равноотстоят от оси системы, и качество интерферограммы будет наилучшим. Следовательно, величина  $b$  определяется как

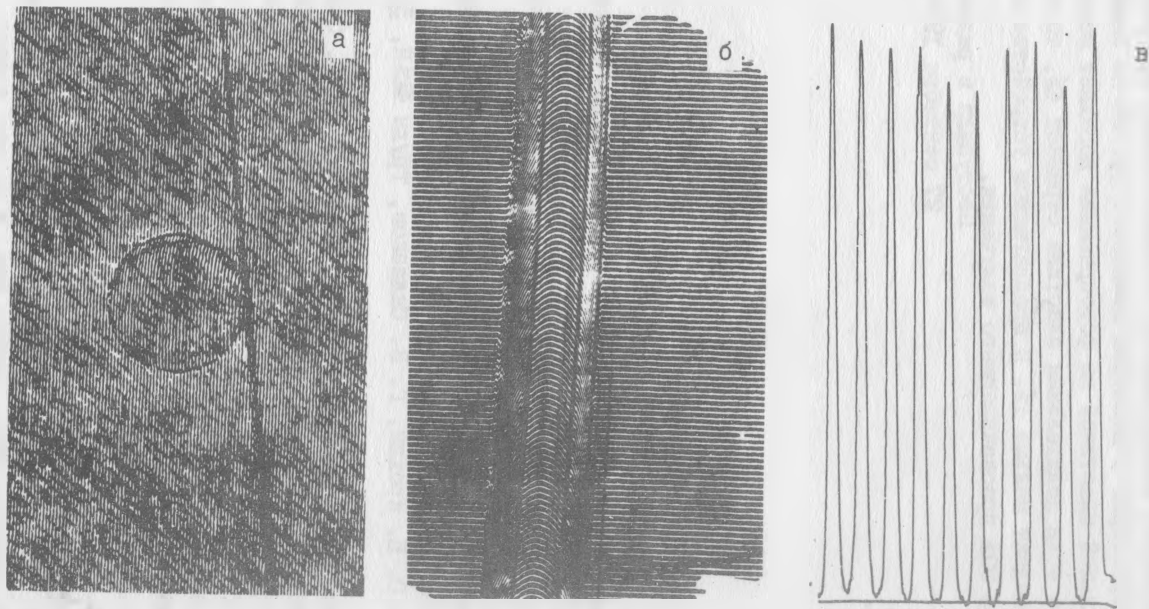
$$b = \lambda f (k + 1) \Delta / 4 \operatorname{ctg}^2 [(n - 1)\sigma]. \quad (4)$$

Максимально возможное число полос в данном устройстве в принципе определяется в основном шириной линии просвечивающего излучения  $\Delta\lambda$ , т.е.  $n \leq \lambda / \Delta\lambda \approx 1/6$ .

Для исследования возможностей интерферометра использовались полые стеклянные микросферы, применяемые в качестве мишеней в экспериментах по лазерному синтезу /17/. Диаметр микросфер  $\phi \sim 150 + 300$  мкм и толщина стенки  $\Delta = 1,5 + 4$  мкм. На рис. 2а представлена характерная интерферограмма оболочечной микросферы из  $\text{SiO}_2$ . Ширина полос в плоскости изображения составляет  $\approx 140$  мкм. С учетом коэффициента увеличения  $k \approx 40$  ширина полосы по объекту имеет величину  $e \approx 3,5$  мкм, что в два раза ниже предельного разрешения системы в целом.

Для плазменных экспериментов более пригодны объективы с  $f \sim 10$  см и светосилой  $1/0,25$ . В наших экспериментах в качестве светосильного объектива использовалась асферическая линза  $f/2$  с апертурой 60 мм. Разрешение такой линзы вблизи фокуса (при передаче изображения в бесконечность) составляет  $\approx 3$  мкм, поле зрения  $\approx 2^\circ$ , т.е.  $\approx 10$  мм в плоскости объекта. Большая апертура объектива позволяет регистрировать сильно рефрагировавшие лучи из области с резкими градиентами  $n_1$ . Характерная интерферограмма стеклянного капилляра с  $\phi = 300$  мкм и толщиной стенки 40 мкм представлена на рис. 2б. Денситограмма интерферограммы представлена на рис. 2в. Контраст полос на интерферограмме  $\gamma \approx 0,9$ , полосы хорошо прослеживаются.

Отметим, что данный интерферометр конструктивно крайне прост и не требует разработки специальных методов юстировки, как например, интерферометры Маха и Майкельсона. Подсветка интерферометра



Р и с. 2. а) Характерная интерферограмма оболочечной мишени из  $\text{SiO}_2$ ;  $\phi \approx 150$  мкм,  $\Delta \approx 2$  мкм.  
 б) Интерферограмма капилляра из  $\text{SiO}_2$ ;  $\phi \approx 300$  мкм,  $\Delta \approx 40$  мкм. в) Денситограмма интерфе-  
 рограммы невозмущенного поля

также проста, для когерентного освещения необходима лишь соответствующая коллимация просвечивающего пучка.

Кроме того, данный интерферометр обладает малыми потерями света. В интерферометрах с удалением волнового фронта по амплитуде с 50% делительной пластины на фотоприемник попадает меньше 20% излучения, а если делительная пластина отражает 4%, то на фотоприемник попадает меньше 1%. В предлагаемом устройстве используется более 90% просвечивающего излучения.

Поступила в редакцию

27 сентября 1979 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. G. V. Sklizkov, in "Laser Handbook". North Holland, Amsterdam, vol. 2, 1545 (1972).
2. Л. А. Душин, О. С. Павличенко. Исследование плазмы с помощью лазеров. М., Атомиздат, 1968 г.
3. А. Н. Зайдель, Г. В. Островская. Лазерные методы исследования плазмы. Л., Наука, 1977 г.
4. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, Г. В. Склизков, Труды ФИАН, 52, 171 (1970).
5. А. Е. Данилов, С. А. Магницкий, Ю. А. Михайлов, Г. В. Склизков, С. И. Федотов, Х. Шеннагель, Препринт ФИАН № 135, 1976 г.
6. U. Ascoli-Bartoli, A. DeAnelis, S. Martellucci, Nuovo Cimento 18, 1116 (1960).
7. A. Saleres, D. Cognard, F. Floux, Proc. of 5 European conf. of Controlled Fusion and Plasma Phys, Aug. 1972, Grenoble, France, vol. 1, p. 59.
8. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, Г. В. Склизков, С. И. Федотов, Труды ФИАН, 76, 146 (1974).
9. A. J. Alcoc, S. A. Ramsden, Appl. Phys. Lett., 8, 187(1966).
10. E. Fabre, H. Lamain, Phys. Lett., 29A, N 9, 497 (1969).

11. Ю. А. Захаренков, Н. Н. Зорев, А. А. Кологривов, Н. А. Коноплев, Г. В. Склизков, С. И. Федотов, Препринт ФИАН № 121, 1973 г.
12. В. М. Грознов, А. А. Ерохин, Ю. А. Захаренков, Н. Н. Зорев, Н. А. Коноплев, О. Н. Крохин, С. И. Федотов, А. С. Шиканов, Препринт ФИАН № 50, 1975 г.
13. А. Я. Перина. Когерентность света. М., Мир, 1974 г.
14. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики. М., Наука, 1973 г.
15. А. Н. Захарьевский. Элементы общей теории интерферометров, в сб. "Теория и расчет оптико-механических приборов", № 1, вып. 2, Машгиз, 1947 г.
16. Г. С. Ландсберг. Оптика, М., Наука, 1976 г.
17. Е. Г. Гамалий, А. И. Исаков, Ю. А. Меркульев и др. Квантовая электроника, 2, Ю43 (1975).