

ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЛАЗЕРНЫХ МИШЕНЕЙ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ

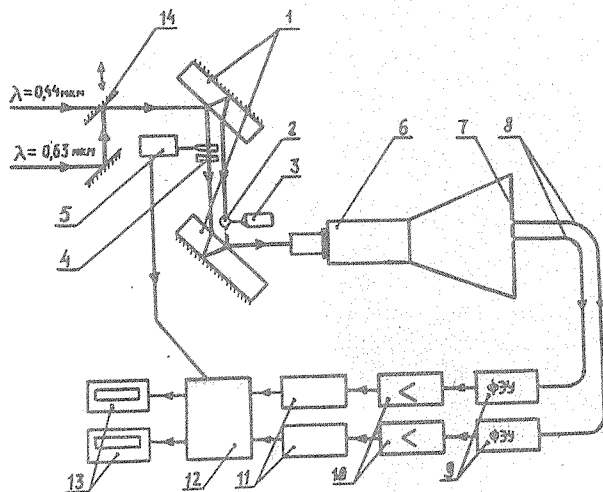
А. И. Исаков, Ю. А. Меркульев, А. И. Никитенко

УДК 621.378.9

Описывается оптический метод контроля и измерения параметров оболочечных лазерных мишеней, обладающий высокой точностью и производительностью. Ошибка в определении толщины стенки мишени не более 0,01 мкм, предельная разнотолщинность, которая может быть обнаружена, порядка 0,1%.

К мишеням, предназначенным для экспериментов по сферическому лазерному сжатию, предъявляются высокие требования. В частности, их разнотолщинность не должна быть более 1%, а геометрические характеристики (радиус, толщина стенки и т.д.) должны быть известны с точностью не хуже 1% /1,2/. Высокую точность при большой производительности измерений имеют оптические методы /3,4/. В течение последних трех лет параметры оболочечных мишеней, предназначенных для экспериментов по ЛТС в ФИАНе, измерялись с помощью интерферометра Жамена /5/. Наблюдаемая в микроскоп интерференционная картина для правильной оболочки состоит из concentрических интерференционных колец. Отличие форм оболочки от сферически симметричной вызывает искажения интерференционной картины (смещение центра колец относительно центра изображения оболочки, изменение формы колец и т.д.). Расчеты показывают, что разнотолщинность более 2-5% вызывает искажения интерференционной картины, заметные визуально. При фотоэлектрическом обмере интерферограммы возможно обнаружить разнотолщинность 0,5-1%. Толщина стенки оболочки определялась по радиусам интерференционных колец, измеренным фотоэлектрическим способом. Расчет проводился на ЭВМ по специально разработанным программам. Точность измерений зави-

села от толщины оболочки и составляла 3-10%. На тщательное измерение одной мишени требовалось 1-2 дня. В настоящее время ясно, что такая точность и производительность недостаточна. Опыт работы показал, что доля оболочек с разнотолщиной менее 1% составляет порядка 0,01 от оболочек с разнотолщиной менее 5%, и поэтому для повышения качества лазерных мишеней необходимо измерение большого количества оболочек для выбора из них наилучших. Фактически качество мишеней непосредственно связано с производительностью измерений. Кроме того, желательно иметь более подробную информацию о мишени. В частности, большой интерес представляет оценка спектра возмущений поверхностей мишени, который сказывается на устойчивости сжатия плазмы /6/.



Р и с. 1. Схема установки для измерений методом дополнительных долей. 1 - пластины интерферометра; 2 - исследуемая оболочка; 3 - устройство для поворота оболочки; 4 - компенсатор; 5 - привод; 6 - микроскоп; 7 - экран; 8 - гибкие световоды; 9 - фотомножители; 10 - усилители; 11 - формирователи; 12 - схема синхронизации; 13 - цифровые измерители временных интервалов

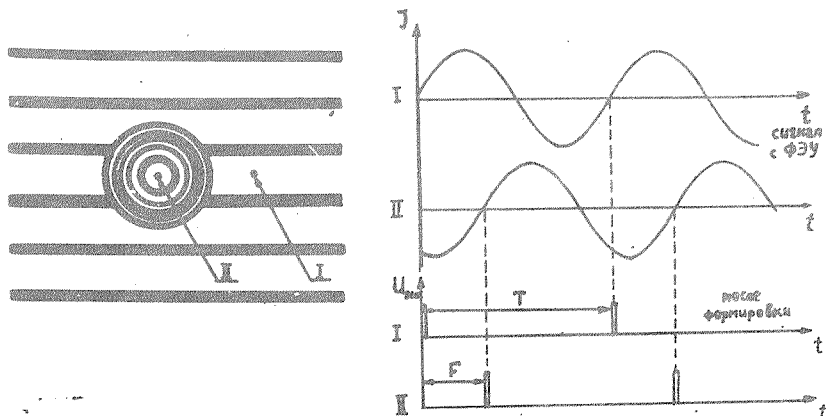
Для повышения точности и производительности измерений нами был применен интерференционный метод дополнительных долей, который впервые для измерения толщины стенки оболочечных мишеней был использован Стоуном /7/.

Оптическая разность хода луча, прошедшего через центр оболочки, и опорного может быть записана следующим образом:

$$\Delta S = 2d(n - 1) = \lambda(m + f), \quad (I)$$

где d - толщина стенки оболочки, n - показатель преломления вещества оболочки, λ - длина волны света, m - целое число и f - доля, на которую оптическая разность хода отличается от целого числа длин волн. В этом уравнении n , λ - известные величины, m может быть найдено, если толщина оболочки грубо измерена (с точностью до λ). Таким образом, задача определения d заключается в измерении дополнительной доли f .

Для реализации метода был использован интерферометр Камена, оборудованный дополнительными устройствами (рис. 1). Измеряемая оболочка (2) помещалась в один из лучей интерферометра, во вто-



Р и с. 2. Слева - наблюдаемая интерференционная картина и расположение входных диафрагм световодов. Справа - электрические сигналы в двух каналах - с ФЭУ и после формирователей

ром луче находился двухклиновый компенсатор (4), один из клиньев которого мог совершать возвратно-поступательное движение с постоянной скоростью с помощью электромеханического привода (5). Интерферограмма оболочки через микроскоп (6) проектировалась на экран (7) с отверстиями диаметром 0,8 мм, за которыми размещались гибкие световоды (8). Путем наклона одного из зеркал интерферометра на экране создавалась система интерференционных полос, ориентированных параллельно линии, соединяющей входные диафрагмы световодов (рис. 2). Оболочка устанавливалась так, чтобы один из световодов находился в центре, а другой вне изображения оболочки. При движении одного из клиньев компенсатора интенсивность света в каждой точке экрана изменяется по синусоидальному закону с частотой, определяемой скоростью движения клина, причем эта частота одинакова во всех точках. Разность фаз сигналов в точках I и II (рис. 2) зависит от толщины оболочки и равна f . Оптические сигналы в точках I и II с помощью ФЭУ (9) превращаются в электрические, усиливаются усилителями (10) и после прохождения формирователей (11) преобразуются в последовательность импульсов. Период следования импульсов T и сдвиг F между импульсами разных каналов измеряется цифровыми частотомерами (13), управляемыми схемой синхронизации (12). Измеренные значения дают величину дополнительной доли $f = F/T$. Для определения величины m использовались два способа. При небольших толщинах ($m < 10$) измерение величины f для двух длин волн ($\lambda_1 = 0,63$ мкм, $\lambda_2 = 0,44$ мкм) позволяет определить m_1 и m_2 (для λ_1 и λ_2) путем решения уравнения (I) в целых числах относительно m_1 и m_2 . При больших толщинах такой способ ненадежен и поэтому производится измерение изменения величины f при смещении центрального световода на известное расстояние r от центра (обычно $r = 0,1 \div 0,5 R$, где R — внешний радиус оболочки). Затем по расчетным зависимостям $\Delta S(r, d)$ грубо определяется d . Точное значение d вычисляется по формуле (I).

Точность измерения d описанным способом в основном определяется точностью измерения f . Фазы сигналов измеряются с точностью около $\pm 1\%$, ошибка за счет конечных размеров диафрагмы для оболочек с $d \leq 5$ мкм и $R \approx 50 \div 200$ мкм не превышает 0,5%. Таким образом, точность абсолютного измерения толщины оболочки

составляет $\approx 0,015 \lambda$, при $\lambda = 0,44$ мкм, $\Delta d \approx 7 \cdot 10^{-3}$ мкм или, если $d = 5$ мкм, $\Delta d/d \approx 0,12\%$.

Разнотолщинность оболочки определяется путем измерения f в двух точках, расположенных симметрично относительно центра оболочки на расстоянии $0,1 - 0,3 R$ от него, измерения проводятся при различной ориентации оболочки. Таким способом можно обнаружить и измерить разнотолщинность порядка $0,1\%$. Описанный метод использовался авторами уже на протяжении полугода для отбора и измерения мишеней для установки "КАЛЬМАР". Высокая точность метода, удовлетворяющая требованиям теории, позволяет получать более подробную информацию об оболочке, измеряя толщины стенок во многих точках оболочки, отклонения от симметрии которой не выходят за допустимые пределы. Ввиду простоты измерений и обработки результатов, производительность данного метода в несколько раз выше ранее использованного. Метод привлекателен также и тем, что измерения сравнительно просто могут быть автоматизированы с помощью существующих систем для автоматизации физического эксперимента.

В заключение авторы благодарят Р. Н. Трактирникова и В. П. Каченко за помощь в изготовлении аппаратуры.

Поступила в редакцию
19 июня 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Е. Г. Гамалий, А. И. Громов, А. И. Исаков и др. Труды ФИАН 94, 29 (1977).
2. J. H. Nuckols. Proc. of conf. "Inertial Confinement Fusion" San-Diego, USA, 1978, report TuA-5.
3. B. W. Weinstein, C. D. Hendricks, Preprint LLL, UCRL-78477 (1976).

4. R. E. Stone, D. W. Gregg, P. C. Souers, J. Appl. Phys., 46, 2693 (1975).
5. А. И. Исаков, Ю. А. Меркульев, А. И. Никитенко. Тезисы докладов XII Европейской конференции по взаимодействию лазерного излучения с веществом, М., 1978 г., с. 74.
6. Е. Г. Гамалий, В. Б. Розанов, В. Ф. Тишкин и др., Препринт ИИМ № II7, 1978 г.
7. R. E. Stone. Report LLL, UCRL-51788 (1975).