

МЕТОДИКА ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ В ИК ОБЛАСТИ
СПЕКТРА С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Ю. А. Быковский, В. А. Грибков, М. В. Гришин,
С. А. Исаков, О. Н. Крохин

УДК 621.378.9

Описывается диагностическая методика на базе однопроходного интерферометра Маха - Цендера для измерения плотности плазмы с временным разрешением порядка 1 нс. В качестве источника излучения используется стационарный CO₂-лазер.

В настоящее время существует острая потребность в разработке лазерных методов исследования быстропротекающих процессов с применением лазеров ближнего ИК диапазона для приложения к оптике, физике плазмы и др. Несмотря на значительное количество работ, выполненных в данной области к настоящему времени (см., например, /1-3/), существуют задачи, которые требуют разработки новых методик. К таким задачам, в частности, относится проблема достижения максимально возможной чувствительности интерферометрической методики при одновременном повышении временного разрешения.

Прямими и очевидными путями повышения чувствительности при измерении фазовых сдвигов в лазерной интерферометрии является увеличение длины волны лазерного излучения в области сотен микрон и применение многопроходных интерферометров типа Майкельсона и Фабри - Перо. Однако, в ряде случаев первый способ оказывается неприемлемым из-за отсутствия достаточно мощных одно-модовых лазеров, простых и надежных детекторов, а также из-за большого коэффициента поглощения в изучаемом объекте в этом диапазоне, второй - из-за ухудшения временного разрешения. В этих экспериментах представляется целесообразным использовать

CO₂-лазер ($\lambda = 10,6$ мкм) в квазинепрерывном режиме с разверткой сигнала, получаемого с помощью быстродействующего приемника ИК излучения, на скоростном осциллографе. Изменение амплитуды сигнала при этом будет определяться изменением набега фазы в быстродвижущемся объекте, а чувствительность в принципе может быть ограничена лишь отношением сигнал-шум в регистрируемой тракте.

В настоящей работе описана диагностическая аппаратура, созданная для измерения плотности остаточной плазмы на установке с плоской геометрией электродов, разработанной Н. В. Филипповым /4/.

В работе /5/ описана методика сверхскоростной пятикадровой интерферометрии плазменного фокуса (ПФ) на основе рубинового лазера ($\lambda = 0,69$ мкм). С помощью этой методики была измерена плотность плазмы в пинче порядка 10^{18} см⁻³. Однако для исследования остаточной плазмы плотность частиц оказалась недостаточной, чтобы вызвать заметное смещение интерференционных полос. Использование для этой цели CO₂-лазера позволяет улучшить чувствительность интерферометрических исследований.

В предлагаемой методике ИК детектор помещается в пределах одной полосы интерференционной картины, получаемой от непрерывного CO₂-лазера. При изменении плотности плазмы происходит смещение интерференционных полос, которое модулирует сигнал на ИК приемнике. Частота модуляции дает значение плотности плазмы.

Известно /6/, что показатель преломления можно определить приблизительным выражением $n - 1 = -4,48 \cdot 10^{-14} N_e \lambda^2$, где N_e - плотность электронов, а λ - длина волны в сантиметрах. Тогда, считая, что плазма оптически однородна, величина сдвига, выраженная в числе полос (Z), будет:

$$Z = (n - 1)(l/\lambda) = -4,48 \cdot 10^{-14} N_e \lambda l,$$

где l - длина оптического пути.

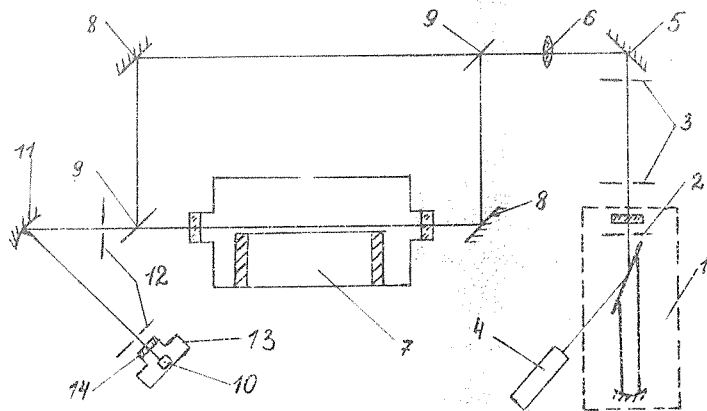
При средней длине оптического пути в несколько десятков сантиметров сдвиг на одну полосу соответствует плотности порядка $5 \cdot 10^{14}$ см⁻³. Возможность измерения меньших плотностей определяется в основном следующими факторами: 1) отношением ширины луча на осциллографе к максимальной амплитуде сигнала на экра-

не; 2) шумами детектора; 3) влиянием электромагнитной наводки на детектор и измерительную аппаратуру. Поскольку шумы детектора малы (в нашем случае $\text{NEP} \sim 3 \cdot 10^{-11} \text{ ВтГц}$), а электромагнитную наводку можно исключить хорошим экранированием аппаратуры, или вычитанием ее из основного сигнала, то чувствительность системы будет определяться в основном первым фактором. Для используемого осциллографа С7-10Б это отношение равно $1/30$, что дает минимальную детектируемую плотность $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Для уменьшения потерь интенсивности излучения, падающего на приемник, желательно получать интерференционную картину с бесконечными ширинами полос. Это достигается хорошей параллельностью интерферирующих лучей.

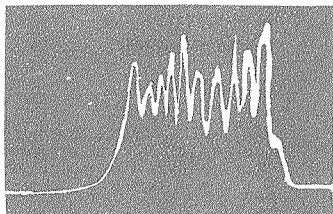
Необходимо также отметить, что получить интерференционную картину для CO_2 -лазера значительно проще, чем для рубинового, поскольку длина когерентности для излучения рубинового лазера 5 см, а для CO_2 -лазера более 1 м.

Оптическая схема приведена на рис. 1. В качестве источника света используется отпаянный CO_2 -лазер непрерывного действия (1). Резонатор лазера образован золотым сферическим зеркалом $R = 1,2 \text{ м}$ и плоским диэлектрическим зеркалом с коэффициентом отражения 75%. Длина резонатора 0,6 м. Мощность генерации (без селекции



Р и с. 1. Схема экспериментальной установки

мод) составляет несколько ватт. Для выделения одной поперечной моды с целью улучшения контраста интерференционного сигнала в резонатор вмонтирована диафрагма ϕ 3,3 мм (2). На выходе лазера установлены две диафрагмы (3) для согласования излучения CO_2 -лазера с излучением HeNe-лазера (4), что упрощает юстировку интерферометра. После прохождения поворотного зеркала (5), позволяющего сканировать луч поперек окна ПФ (7), и согласующей линзы (6), позволяющей в пределах размера ПФ получать пучок малой расходимости, излучение попадает в интерферометр Маха - Цендера, образованный двумя золотыми (8) и двумя диэлектрическими (9) плоскими зеркалами. Коэффициент отражения диэлектрических зеркал 55%. Фокусировка излучения на детектор (10) и необходимая параллельность лучей в обоих плечах интерферометра обеспечивается сферическим золотым зеркалом (11) и двумя диафрагмами (12) соответственно. Осциллограмма видности интерференционных полос приведена на рис. 2.



Р и с. 2. Осциллограмма видности интерференционных полос на модулированном сигнале от непрерывного CO_2 -лазера

В качестве приемника излучения используется фотосопротивление из германия, легированного цинком, с полностью компенсированным первым уровнем GeZn^{II} /5,7/. Максимум чувствительности таких фотоприемников при охлаждении жидким азотом находится вблизи 12 мкм. Время жизни неравновесных носителей заряда, которое определяет временное разрешение приемника, не превышает 1 нс. Фотосопротивление (10) монтируется на хладопроводе металлического азотного криостата (13). Криостат снабжается оптическим окном из BaF_2 (14). Откачка криостата производится форвакуумным насосом, а затем сорбционным насосом, смонтированным на хладо-

проводе криостата. Электрическая схема включения фотосопротивления определяется требованиями к временному разрешению. Фото-сопротивление работает в режиме "короткого замыкания", что позволяет реализовать необходимое временное разрешение и уменьшить коэффициент стоячей волны в коаксиальной линии (кабеле).

Для уменьшения влияния электромагнитных наводок криостат, измерительный тракт и вся измерительная аппаратура экранированы. Для предотвращения попадания рентгеновского излучения ПФ на фотоприемник криостат заключается в свинцовый кожух с толщиной стенки 2 см. Напряжение смещения подается от гальванической батареи, что исключает возможность прохождения сетевых помех на детектор.

В заключение отметим, что описанная методика может применяться также для изучения процессов ПФ, для которых интерферометрия на основе рубинового лазера оказывается не чувствительной. К таким процессам относятся начальная стадия, стадия разгона токовой оболочки и стадия развала.

Авторы благодарят Е. Л. Кошелева за полезные консультации и помощь в наладке аппаратуры.

Поступила в редакцию
15 февраля 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. S. Takéda, P. Minami, J. Journ. Appl. Phys., 5, 696 (1966).
2. Г. И. Будкер и др., Труды У Международной конференции по физике плазмы и УТС, Вена, 1975 г., с. 763.
3. Э. М. Бархударов и др., Препринт ИФ АНГрССР, ФП-I, Тбилиси. 1982 г.
4. N. V. Filippov, T. I. Filippova, V. P. Vinogradov, Nucl. Fusion, Suppl., part 2, p. 577 (1962).
5. В. А. Грибков и др., Труды ФИАН, 127, 32 (1980).
6. В. Л. Гинзбург, Распространение электромагнитных волн в плазме, Физматгиз, М.; 1960 г.
7. В. А. Грибков, В. М. Коржавин, В. А. Курбатов, Препринт ФИАН № 125, М., 1978 г.