

О ПРИМЕНЕНИИ МНОГОЛУЧЕВОГО ТРЕХПЛАСТИНЧАТОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Н. А. Полушкина и М. Б. Тендлер

Рассмотрена возможность применения многолучевого интерферометра последовательного типа для исследования радиального распределения концентраций нейтральных атомов в положительном столбе разряда в аргоне. Приводится оценка чувствительности предложенного метода и диапазон измеряемых величин. Получены предварительные данные по радиальному распределению концентраций нейтральных атомов в аргоне в абсолютных единицах.

Как известно [1], показатель преломления нейтральных атомов аргона во всей видимой области спектра с хорошей точностью описывается формулой Коши

$$(n - 1)_{\text{ArI}} = 1.04 \cdot 10^{-23} (1 + 5.6 \cdot 10^{-11} \lambda^{-2}) N_{\text{ArI}}, \quad (1)$$

где n — показатель преломления нейтральных атомов аргона, λ — длина волны просвечивающего излучения в сантиметрах, N_{ArI} — концентрация нейтральных атомов аргона в см^{-3} .

Переходя к изменениям показателя преломления Δn , при $\lambda = 0.546 \times 10^{-4}$ см имеем

$$\Delta N = 0.95 \cdot 10^{23} \Delta n \text{ (см}^{-3}\text{)}. \quad (2)$$

В принципе для интерферометрических исследований плазмы пригоден любой интерферометр, применяемый для измерения показателя преломления, например интерферометры Рождественского, Майкельсона [2, 3]. В последнее время благодаря применению газовых лазеров в качестве источника появилась возможность использовать для подобных целей интерферометр Фабри—Перо [4, 5].

В данной работе для исследования плазмы использовался многолучевой трехпластинчатый интерферометр последовательного типа (МТИПТ), который сочетает в себе некоторые особенности как двухлучевых схем, так и многолучевых. Подобно двухлучевым интерферометрам длина ветвей в МТИПТ ограничена лишь чисто конструктивными соображениями, но в то же время он дает многолучевые полосы низких порядков, не требуя для своей работы лазерных источников. Теория работы МТИПТ рассмотрена в статьях [6-8].

Схема опыта представлена на рис. 1. Свет от источника I (лампа ДРШ-250) проецируется конденсором K во входной зрачок интерферометра D_1 . Объектив O_1 направляет параллельный пучок света на пластины интерферометра P_1, P_2, P_3 , расположенные так, что пластина P_1 параллельна пластине P_2 , а пластина P_3 может наклоняться по отношению к первым двум на некоторый угол. В интерферометре наблюдаются полосы равной толщины. Объект исследования T , представляющий собой разрядную трубку, помещается в первую ветвь интерферометра P_1-P_2 , во вторую ветвь интерферометра P_2-P_3 ставится стеклянная пластинка C для компенсации начальной разности фаз, вносимой окнами разрядной

трубки T . Объектив O_2 формирует изображение интерференционной картины в плоскости фотопленки Π . Комбинированный фильтр F выделяет зеленую линию ртути 546 нм и частично срезает собственное излучение плазмы. В фокусе объектива O_2 помещается диафрагма D_2 для уменьшения рассеянного света, создаваемого излучением плазмы.

Основные характеристики интерферометра: световой диаметр 55 мм; диаметр входной диафрагмы D_1 0.5 мм; фокусное расстояние коллиматорного и камерного объективов $f_1=f_2=400$ мм, длина ветвей $l_1 \sim l_2 \sim 310$ мм.

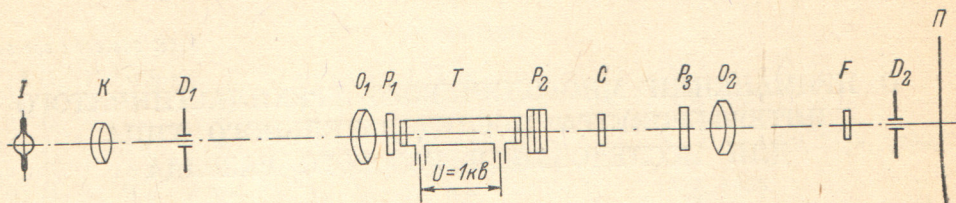


Рис. 1. Схема установки.

Интерферометр работал в рассчитанном [8] оптимальном режиме при коэффициентах отражения интерференционных пластин $R_1=R_3=0.8$ и $R_2=0.998$. Для получения заданного коэффициента отражения R_2 в качестве средней делительной пластины P_2 использовался эталон Фабри—Перо [8].

До момента зажигания разряда в трубке T интерферометр настраивался на равномерно освещенное поле, при этом пластина P_3 устанавливалась

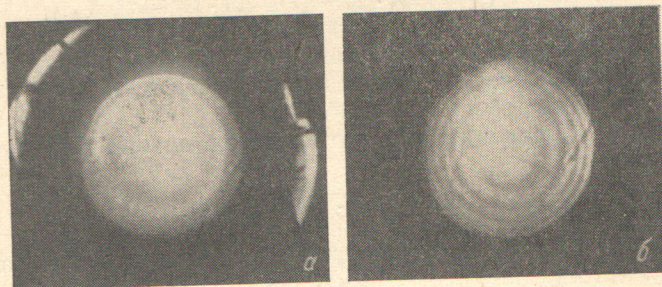


Рис. 2. Интерферограммы аргоновой плазмы $p=1$ (а), $p=2$ (б).

ливалась параллельно пластинам P_1 и P_2 . После зажигания разряда в поле зрения наблюдались концентрические кольца (рис. 2), соответствующие областям постоянной разности хода.

Разность хода в МТИПТ равна [6]

$$\Delta d = 2(l'_1 - l'_2), \quad (3)$$

где l'_1 и l'_2 — оптические длины ветвей интерферометра.

Если разместить пластины интерферометра P_1 , P_2 и P_3 так, что одна ветвь интерферометра l_1 примерно в целое число p раз короче другой ветви l_2 , и в короткую ветвь l_1 поместить исследуемый объект, то нетрудно заметить, что в этом случае разность хода выражается формулой

$$\Delta d = 2(pl_1 - l_2), \quad (4)$$

где p — целое число, до которого округлено отношение l_2/l_1 , l_1 и l_2 — оптические длины ветвей интерферометра.

Оптическая длина пути в плазменном слое толщиной L отличается от оптической длины пути в вакууме на величину

$$2p\Delta nL = \Delta k\lambda, \quad (5)$$

где Δk — изменение порядка интерференции, вызванное изменением показателя преломления Δn . Отсюда

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2pL} \Delta k. \quad (6)$$

Чувствительность Δn_{\min} , т. е. минимальное значение измеряемого изменения показателя преломления, для данной длины волны определяется предельной чувствительностью Δk_{\min} интерферометра последовательного типа. При фотографической регистрации, если экспонирование интерференционных полос производится на линейном участке характеристической кривой почернений [5], $\Delta k_{\min} = 0.06 \sqrt{F}$, где F — фактор резкости. В нашем случае $F = 40$ [8], тогда $\Delta n_{\min} \sim 10^{-8}$ при $\lambda = 546$ нм, $L = 250$ мм, $p = 1$. Из (2) следует, что чувствительность метода в определении изменения концентраций $\Delta N_{\min} = 0.95 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

Ограничение на верхний предел измеряемой величины Δn_{\max} накладывают следующие факторы: градиент неоднородности объекта и монохроматичность источника света. Влияние градиента неоднородности объекта можно свести к клину, помещенному на пути интерферирующих лучей, величина которого ограничивается допустимым искажением интерференционной картины [9]. Требования к монохроматичности источника света должны быть таковы, чтобы спектральная ширина источника была бы меньше аппаратной ширины интерферометра $\delta\lambda$, которая определяется

$$\delta\lambda = \frac{\lambda^2}{(pl_1 - l_2) \pi \sqrt{F}}. \quad (7)$$

Ориентировочный учет этих обстоятельств дает значение $\Delta n_{\max} \sim 10^{-4}$. Таким образом, диапазон измеряемых значений ΔN по (2) $10^{15} - 10^{19}$ см⁻³, что дает возможность использовать метод в интервале давлений 0.1—760 тор.

На установке, схема которой приведена на рис. 1, производилось исследование радиального распределения концентраций нейтральных атомов в положительном столбе разряда в аргоне в трубке T радиусом $r_{\text{тр.}} = 12.5$ мм, длиной $l_{\text{тр.}} = 250$ мм.

На рис. 2 приведены фотографии интерферограмм плазмы, полученных при отношении ветвей интерферометра $p = 1$ и $p = 2$ и следующих условиях разряда: давление в трубке 20 тор, разрядный ток 0.14 а. Как видно из фотографии рис. 2, б, при $p = 2$ наблюдается увеличение числа колец в поле зрения и, следовательно, повышение чувствительности, что очевидно из формулы (6).

Обработка интерферограмм производилась методом фотографического фотометрирования с учетом доли полосы.

В предположении, что число частиц в трубке остается постоянным, было рассчитано радиальное распределение концентраций нейтральных атомов N в аргоне в абсолютных единицах (рис. 3).

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Ю. М. Кагану и Л. П. Разумовской за ряд ценных советов и участие в обсуждении работы.

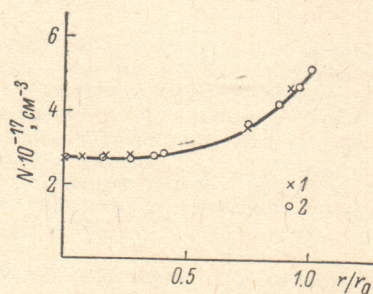


Рис. 3. Радиальное распределение концентраций нейтральных атомов аргона $p = 1$ (1), $p = 2$ (2).

Литература

- [1] Диагностика плазмы. Под ред. Р. Хаддлстоуна и С. Леонарда. Изд. «Мир», М., 1967.
- [2] Г. Г. Долгов, С. Л. Манделъштам. ЖЭТФ, 24, 691, 1953.
- [3] Г. Г. Долгов-Савельев, Э. П. Кругляков, В. К. Малиновский, В. М. Федоров. Диагностика плазмы, вып. 2. Атомиздат, М., 1968.

- [4] В. В. Коробкин. Диагностика плазмы, вып. 1, М., 1963.
- [5] Г. Г. Долгов-Савельев, М. И. Пергамент, М. М. Степаненко, А. И. Ярославский. Диагностика плазмы, вып. 2. Атомиздат, М., 1968.
- [6] D. J. Post. J. Opt. Soc. Am., 48, 309, 1958.
- [7] В. А. Москалев, И. М. Нагибина, Н. А. Полушкина. Оптико-механич. промышл., 12, 30, 1962.
- [8] В. А. Москалев, Н. А. Полушкина. Изв. вузов, приборостроение, 12, 1970.
- [9] Г. В. Розенберг. Оптика тонкослойных покрытий. ГИФМЛ, М., 1958.

Поступило в Редакцию 6 июля 1970 г.
