

КОМПЕНСАЦИЯ РЕФРАКЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ ВОЛНОВОГО ПУЧКА ПРИ ПОМОЩИ ВОЛНОВОДОВ ВИДА КАНАЛ В ДИЭЛЕКТРИКЕ

В.А. Е п и ш и н, В.Н. Р я б ы х, В.А. С в и ч,
А.Н. Т о п к о в, А.Б. Ф е д о т о в

Компенсация рефракционных искажений (РИ) волнового пучка (ВП) является одной из основных проблем лазерной интерферометрии неоднородных сред, например высокотемпературной плазмы. Отклонение ВП, вызванное РИ, пропорционально квадрату длины волны λ [1]. Это ставит компенсацию РИ в интенсивно развивающейся субмиллиметровой интерферометрии в ряд наиболее актуальных задач.

В настоящее время известны как внутриволноводные [2], так и внешние [3-5] методы компенсации искажений, связанных с неоднородностями среды. Из систем, предложенных в последнее время для субмиллиметровой интерферометрии, выгодно отличается многофункциональностью система компенсации РИ, описанная в [5]. Она состоит из волновода вида полый канал в диэлектрике (ВКД) и расположенной между ним и неоднородностью положительной линзы. Однако, наряду с компенсацией смещения оси ВП, такая система вносит значительное искажение поперечного распределения поля на выходе ВКД по отношению к входному полю. Кроме того, она не позволяет получить ВП с фокусировкой вблизи плоскости регистрации, способствующей повышению чувствительности приема. В настоящей работе установлено, что правильным выбором соотношений между параметрами ВКД и входного ВП можно не только значительно уменьшить искажения поля, но и упростить систему, убрав из нее линзу.

В [6] показано, что в ВКД с радиусом a при условии $\frac{W}{a} \geq 0.6$

(где W - радиус центральной части ВП, через которую проходит половина потока его энергии) существуют сечения с локализацией (фокусировкой) поля на оси волновода. Плоскости локализации расположены на расстояниях $z_g = \frac{g a^2}{\lambda}$ от входного торца ВКД, где $g \in [0.7, 1.7 [U] 1.8, 2.4 [U] 4.2, 5.2 [U] 5.4, 5.9 [U] 7.6, 8.5 [U] 10.1, 11.7 [U] 13.5, 14.2 [U] 14.4, 15.3 [U]$. Для фокусирующего ВКД длиной $L = z_g$ характерна высокая устойчивость распределения выходного поля по отношению к изменениям входного, в том числе и к отклонениям направления ввода пучка относительно оси ВКД. Это явилось основанием для исследования компенсирующих свойств фокусирующих ВКД в схемах с паразитным отклонением пучка за счет рефракции на неоднородностях.

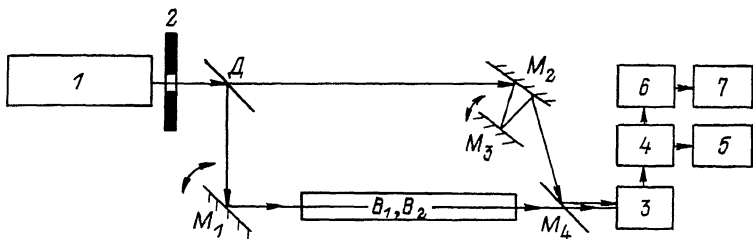


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 - лазер, 2 - механический модулятор, 3 - пирозлектрический приемник, 4 - селективный усилитель, 5 - осциллограф, 6 - линейный детектор, 7 - самопишущий микроамперметр, Д - делитель пучка, M_1 - вращающееся зеркало, M_2 , M_3 - поворотные зеркала, M_4 - полупрозрачное зеркало, B_1 , B_2 - волноводы вида канал в диэлектрике.

В качестве контролируемых параметров были выбраны форма поперечного распределения интенсивности и дополнительный фазовый набег на выходе волновода, регистрируемый в присоединенной области. Исследования проводились на установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Источником излучения служил волноводный HCN - лазер с высокочастотным возбуждением (1), на выходе которого формировалась волна типа EH_{11} . Действие неоднородности моделировалось с помощью поворота рефлектора M_1 на оси, расположенной в одной плоскости с осью ВКД перпендикулярно ей.

Отклоненный зеркалом M_1 пучок направлялся в ВКД, исследуемый в качестве компенсирующего элемента и расположенный на расстоянии от зеркала 50 см (размер, характерный для современных плазменных установок [1]). Угол α между осями ВКД и возбуждающего его пучка определялся по шкале устройства поворота M_1 , предварительно прокалиброванной по лучу He - Ne - лазера. Излучение детектировалось пирозлектрическим приемником (3) на основе кристалла $LiTaO_3$ с рабочей площадью 2×2 мм². Путем сканирования детектора в поперечном направлении фиксировалось распределение интенсивности поля ВП в плоскости приема.

Для регистрации изменения фазового набега ВП с помощью делителя Д, поворотных зеркал M_2 , M_3 и полупрозрачного M_4 создавался опорный канал интерферометра. Настройка интерферометра производилась перемещением зеркала M_3 , установленного в измерительной линии ИЗА-2. Поступательному смещению M_3 на расстояние Δ соответствовало изменение фазового набега опорной волны на величину $\varphi = \frac{4\pi\Delta}{\lambda}$. Точность измерения Δ составляла 1 мкм. Контрастность интерференционной картины была не хуже 0.95.

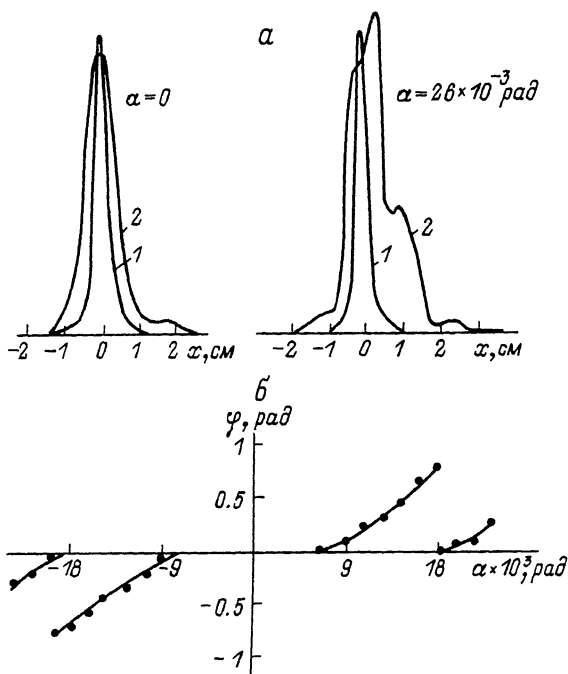


Рис. 2. Результаты эксперимента. а – распределения интенсивности в относительных единицах на выходе из волновода в случаях соосного и косою падения пучка излучения; б – зависимость фазового набег в интерферометре от угла входа пучка излучения измерительного канала в компенсирующий волновод.

При $\alpha = 0$ устанавливался минимум интерференционного сигнала. С изменением α сигнал интерференции изменялся. Перемещением M_3 вновь устанавливался минимальный уровень сигнала и определялся фазовый набег ВП на выходе ВКД, обусловленный изменением угла ввода пучка в волновод.

Результаты экспериментов, приведенные на рис. 2, относятся к использованию в качестве компенсаторов волноводов из кварца (кривые 1) и стекла (кривые 2) с параметрами $\alpha = 9.5$ мм, $L = 145$ см и $\alpha = 18$ мм, $L = 230$ см соответственно. Кварцевый волновод B_1 полностью удовлетворял условиям фокусировки излучения на его выходе ($g = 5.4$, $\frac{W}{\alpha} = 0.6$). Параметры стеклянного волновода B_2 несколько отличались от оптимальных ($g = 2.4$, $\frac{W}{\alpha} = 0.4$). В обоих случаях наблюдался эффект компенсации влияния рефракционных искажений на контролируемые параметры ВП при отклонениях оси

исходного пучка на M_1 до значений α порядка нескольких мрад. В опыте с волноводом B_2 искажения выходного пучка значительней, чем с B_1 , но намного меньше, чем при произвольном выборе геометрии ВКД в линзово-волноводном компенсирующем устройстве [5]. В то же время при применении B_2 наблюдается компенсация более значительных углов отклонения пучка α , чем при B_1 . Это объясняется тем, что с увеличением α увеличивается число и энергетический вклад высших мод в пространственном спектре пучка, распространяющегося в ВКД. Для волновода B_2 параметр

$g = \frac{L\lambda}{\alpha^2}$ более чем вдвое меньше, чем для B_1 . Поэтому для последнего значительно больше дополнительные фазовые набеги мод (пропорциональные g) и больше рост фазового набега ВП на выходе ВКД, возникающий при увеличении α .

Таким образом, размещение фокусирующего волновода в измерительном канале субмиллиметрового интерферометра решает проблему компенсации рефракционных искажений и повышает точность интерференционных измерений без применения дополнительных оптических элементов. Одновременно решаются задачи транспортировки излучения и повышения чувствительности приема сигнала интерференции.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Лукьянов С.Ю. Диагностика термоядерной плазмы, М.: Энергоатомиздат, 1985. 168 с.
- [2] Ананьев Ю.А. // Оптика и спектроскопия. 1968. Т. 65. В. 4. С. 963-966.
- [3] Мальцева Н.А., Пресняков Ю.П. // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 62. В. 3. С. 664-668.
- [4] Малых Н.И., Рождественский В.В. Сб. Диагностика плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1986. В. 5. 89-113.
- [5] Uesudi Y., Matoba T., Ochiai J., Mizumo K. // Rev. Sci. Instrum, 1986. V. 57 (7). P. 1290-1295.
- [6] Епишин В.А., Маслов В.А., Рябых В.Н., Свич В.А., Топков А.Н. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 14. С. 1335-1338.

Харьковский государственный
университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию
10 апреля 1989 г.