

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВЫХ ФРОНТОВ

А.С. Коряковский, В.М. Марченко, А.М. Прохоров

Изменение оптических параметров среды под действием излучения используется для бесконтактной фазовой коррекции волнового фронта на основе термооптических явлений.

Оптические неоднородности в элементах лазерных систем, возникающие, например, под действием накачки и лазерного излучения, искажают форму волнового фронта и ухудшают диаграмму направленности излучения. Уменьшения расходимости добиваются путем улучшения оптических параметров элементов лазерных систем, а также непосредственным воздействием на волновые фронты методами адаптивной оптики /1/ и обращения волнового фронта /2/.

Представляет интерес осуществление заданных фазовых преобразований световых полей действием излучения на оптические параметры среды. В частности, фазовые искажения, возникающие при нагреве элементов вследствие поглощения излучения, могут быть использованы для создания бесконтактных адаптивных фазовых преобразователей, управляемых светом. Такие преобразователи (корректоры волновых фронтов) обладают рядом преимуществ:

- отсутствуют дополнительные помехи в оптическом тракте, например, электроды в электрооптических корректорах;
- осуществляется непрерывное по апертуре фазовое преобразование с высоким пространственным разрешением, в отличие, например, от гибких зеркал с ограниченным числом исполнительных элементов;
- в качестве преобразователя могут быть использованы стандартные оптические материалы типа плоскопараллельных пластин.

Задача сводится к формированию распределения интенсивности управляющего излучения, которое вызывает заданный отклик фазового преобразователя. При нагреве оптического элемента излучением проходящим через него волновые фронты искажаются вследствие зависимости показателя преломления от температуры и искривления оптических поверхностей /3/.

Термооптический фазовый преобразователь представляет собой плоскопараллельную пластину, прозрачную для преобразуемого, но поглощающую для управляющего излучения. В пластине формируется распределение управляющего излучения, которое вызывает соответствующее распределение температур и показателя преломления по апертуре преобразователя фазы. В непрерывном режиме распределение показателя преломления устанавливается с участием теплопроводности и требуется охлаждение элемента.

Затраты тепловой энергии Q в единичном объеме на изменение оптического пути δl при импульсном облучении оцениваются по формуле $Q = (c\rho/dn/dT) (\delta l/l)$, где c — теплоемкость, ρ — плотность, l — линейный размер элемента. Например, для германия ($dn/dT = 4 \cdot 10^{-4}$ град $^{-1}$) при $l = 1$ см для изменения оптической толщины на $\delta l = 1$ мкм требуется $Q = 0,41$ Дж/см 3 . При этом пластина нагреется на $\Delta T = \delta l/l \cdot dn/dT = 0,25$ К. Для кварцевой пластины с $dn/dT = 10^{-5}$ град $^{-1}$ /4/ $\delta l = \lambda = 0,63$ мкм, $Q = 11,5$ Дж/см 3 .

Фазовыми преобразователями могут служить зеркальные элементы. В этом случае управляющее излучение поглощается в поверхностном слое, в котором возникают градиенты температур и напряжений, ведущие к деформациям поверхности. Вследствие термодформаций образуется рельеф, соответствующий распределению управляющего излучения. Выпучивание поверхности частично поглощающего зеркала при его однородной засветке лазерным излучением предлагалось использовать в работе /5/ для компенсации возникающей при генерации в активной среде неодимового лазера динамической термооптической линзы.

Динамический диапазон термооптического преобразователя из выбранного материала определяется линейным размером и температурой нагрева, а быстродействие — временем распространения тепла между поглощающими центрами. В термодформационных преобразователях динамический диапазон зависит от термонапряжений и прочности материала, а быстродействие определяется скоростью перемещения участков поверхности.

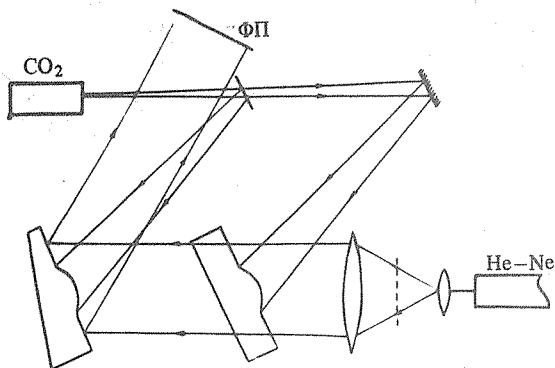


Рис. 1. Схема эксперимента по коррекции наведенных искажений.

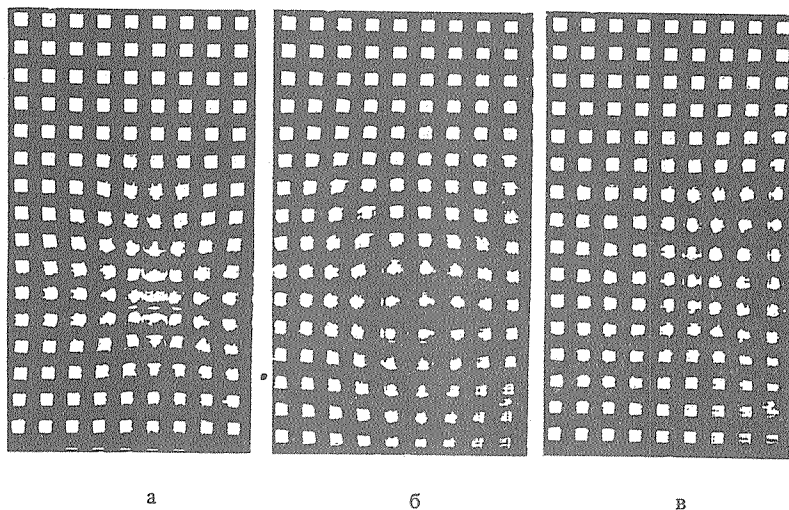


Рис. 2. Тальбограммы искажений, вносимых плоскопараллельной пластиной на просвет (а), клиновой пластиной на отражение (б), обеими пластинами вместе (в) (компенсация).

С целью демонстрации возможности создания термооптических фазовых преобразователей был выполнен эксперимент по коррекции наведенных оптических искажений (рис. 1). В параллельный пучок He-Ne лазера вносились плоская и клиновидная кварцевые пластины. Пластины подсвечивались излучением непрерывного CO_2 лазера ($\lambda = 10,6$ мкм) мощностью ~ 1 Вт. Из-за большого показателя поглощения в кварце ($\sim 300 \text{ см}^{-1} / 4/$) тонкий приповерхностный слой нагревается и выпучивается. Для пучка He-Ne лазера это приводит к появлению оптических неоднородностей типа линзы, положительной в проходящем и отрицательной в отраженном свете. При пространственном совмещении областей воздействия инфракрасного излучения искажения, вносимые первой пластиной, должны ослабляться искажениями во второй.

Искажения волнового фронта He-Ne лазера регистрировались методом тальбот-интерферометрии [6]. На рис. 2а приведена тальбограмма искажений типа собирающей линзы (пятна сходятся), вносимых первой пластиной, подсвеченной CO_2 лазером. На рис. 2б показана тальбограмма искажений, вносимых только второй пластиной, типа рассеивающей линзы (пятна расходятся). При одновременной подсветке обеих пластин искажения частично компенсировались (рис. 2в). Неполную компенсацию, по-видимому, можно объяснить различным временем нагрева пластин, а также тем, что в отличие от второй пластины первая работала на просвет и в ней, кроме деформации поверхности, вносили свою долю также искажения за счет изменения показателя преломления. В эксперименте величина вносимых искажений по оценкам из тальбограмм (рис. 2) составляла $\sim \lambda$ на апертуре ~ 1 см. Размер возмущенной области на пластине мог уменьшаться в зависимости от площади подсветки до $\sim 1 \text{ мм}^2$.

При использовании фазового преобразователя для коррекции искажений волнового фронта необходимо перевести измеренные фазовые искажения в соответствующее распределение интенсивности с учетом функции отклика преобразователя. Это можно осуществить, например, изготавливая амплитудные маски или используя развертку по преобразователю управляющего пучка, интенсивность которого модулируется в соответствии с величиной деформации волнового фронта.

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность использования термооптических явлений для создания бесконтактных фазовых преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаптивная оптика. Под ред. Витриченко Э.А. М., Мир, 1980.
2. Зельдович Б. Я., Пилипецкий Н. Ф., Шкунов В. В. Обращение волнового фронта. М., Наука, 1985.
3. Мезенов А. В., Сомс Л. Н., Степанов А. И. Термооптика лазеров. Л., Машиностроение, 1986.
4. Воронкова Е. М., Гречушников Б. Н., Дистлер Г. И., Петров И. П. Оптические материалы для инфракрасной техники. М., Наука, 1965.
5. Ананьев Ю. А., Гришманова Н. И. ЖПС, 12, 1109 (1970).
6. Коряковский А. С., Марченко В. М., ЖТФ, 51, 1432 (1981).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 29 декабря 1986 г.