

Отражение оптического пучка, обладающего спекл-структурой, от «толстой» акустической решетки

В.М.Котов, Г.Н.Шкердин, Д.Г.Шкердин

Экспериментально обнаружено существенное изменение степени пространственной когерентности оптического поля со спекл-структурой в процессе отражения его от «толстой» брэгговской решетки. В рамках модели Гаусса – Шееля этот эффект объяснен различием эффективностей дифракции отдельных областей поля, представляемых гауссовыми пучками с разной угловой расходимостью.

Ключевые слова: акустооптическое взаимодействие, брэгговская дифракция, спекл-структура оптического поля.

Изменение степени пространственной когерентности оптического пучка со спекл-структурой при отражении его от «толстой» акустической брэгговской решетки привлекает внимание многих исследователей [1–5]. Такая решетка является аналогом многослойного зеркала [6] и имеет многие его свойства. Интерес к этим исследованиям определяется тем, что в отличие от обычного зеркала, которое не меняет картину спеклов, многослойное зеркало, обладая угловой селективностью к коэффициенту отражения, способно менять спекл-структуру достаточно сильно. На картину спеклов влияет и изменение мощности звуковой волны. Эти два фактора позволяют менять степень когерентности пучка в широких пределах.

Акустооптическая (АО) дифракция на «толстой» решетке гораздо эффективнее влияет на состояние пространственной когерентности, если акустическая волна формируется звуком малой мощности. На данный факт исследователи не обращали никакого внимания, ими рассматривались режимы, близкие к перемодуляции, т. е. реализующиеся при больших мощностях звука. Кроме того, исследования имели преимущественно теоретический характер.

Выполненные нами эксперименты однозначно показали, что для наибольшего влияния на состояние спекл-структуры нет необходимости использовать мощный звук. Типичная картина АО дифракции в режиме трехфоновонного взаимодействия, когда падающая волна последовательно дифрагирует в 1-й, 2-й и 3-й порядки [7, 8], приведена на рис.1. Выбор такого режима был обусловлен тем, что он позволяет наглядно наблюдать изменение спекл-структуры поля в порядках дифракции, последовательно возникающих с ростом акустической мощности.

Эксперименты выполнялись с использованием излучения He–Ne-лазера ($\lambda = 0.63$ мкм), которое имело спекл-структуру после пропускания его через шероховатую

стеклянную пластинку, шлифованную порошком М5. Излучение коллимировалось затем в квазипараллельный пучок с расходимостью $\sim 0.5^\circ$ и направлялось на АО ячейку, выполненную из TeO_2 . В ячейке распространялась поперечная акустическая волна вдоль направления [110] и реализовывалась анизотропная дифракция света на звуке [7]. Диаметр световой апертуры ~ 0.5 см, длина АО взаимодействия ~ 0.6 см, частота звука ~ 28 МГц. При малой акустической мощности возникает только 1-й порядок АО дифракции (рис.1,а, пятно слева – нулевой порядок, справа – 1-й); видно, что структура 1-го порядка более крупная, мелкозернистый фон не

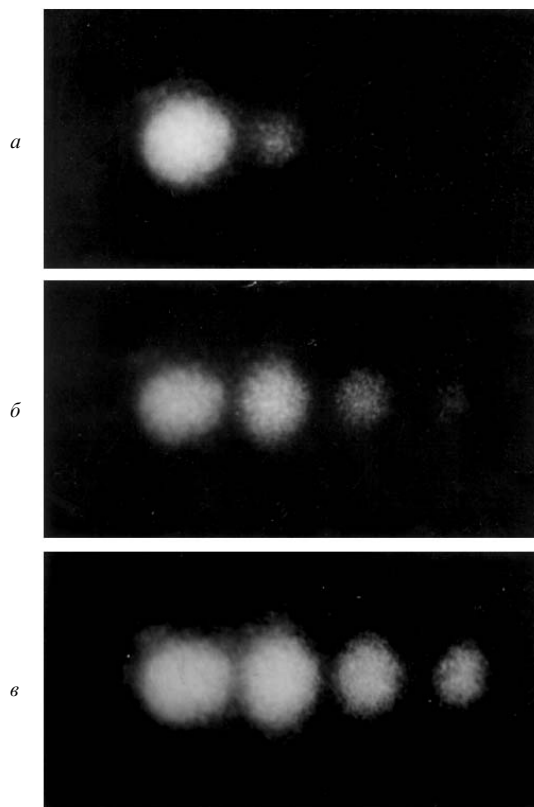


Рис.1. Изменение спекл-структуры дифракционных порядков в зависимости от мощности звука.

В.М.Котов, Г.Н.Шкердин, Д.Г.Шкердин. Институт радиотехники и электроники РАН, Россия, 141120 Фрязино, Московская обл., пл. акад. Введенского, 1; e-mail: vmk277@ire216.msk.su

Поступила в редакцию 29 октября 2002 г., после доработки – 23 мая 2003 г.

проявляется, хотя он преобладает в нулевом порядке. Оценки показывают, что средний размер «зерна» оптического поля в 1-м порядке в 4–5 раз больше аналогичного размера в нулевом порядке. С ростом мощности звука растет интенсивность 1-го порядка, появляется 2-й порядок (рис.1,б), затем – 3-й (рис.1,в). В каждом случае наиболее крупная структура поля (а значит, и наибольшая степень когерентности) наблюдается в высшем порядке дифракции, степень когерентности более низких порядков уменьшается.

Такое поведение можно качественно объяснить следующим образом. Положим, что спекл-структура поля описывается моделью Гаусса – Шееля [3, 9], согласно которой поле представляется набором случайно распределенных гауссовых пучков. Математически это можно записать так:

$$I(x_1, x_2) = \frac{2I_0}{\pi\omega^2} \exp\left[-\frac{x_1^2 + x_2^2}{\omega^2}\right] \exp\left[-\frac{(x_1 - x_2)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (1)$$

Здесь I , I_0 – распределение поля и суммарная интенсивность; x_1 , x_2 – произвольные точки в фиксированной плоскости Z ; ω и σ определяют полуширину пучка по интенсивности (на уровне e^{-2}) и комплексную степень пространственной когерентности (по уровню $e^{-0.5}$).

Дифракция гауссового пучка на акустической волне в режиме Брэгга описывается выражением [10]

$$I_1 = I_0(2\pi)^{1/2} W^2 \frac{\omega_0}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\sin[(\pi L/\lambda)(W^2 + \alpha^2)^{1/2}]}{(W^2 + \alpha^2)^{1/2}} \right. \\ \left. \times \exp\left[-\pi^2 \left(\frac{\omega_0}{\lambda}\right)^2 \alpha^2\right] \exp\left[i2\pi \left(\frac{x}{\lambda}\right) \alpha\right] d\alpha \right|^2 dx, \quad (2)$$

где I_1 , I_0 – интенсивности дифрагировавшего в 1-й порядок и падающего излучений; $W = (L/2\lambda)(\Delta\varepsilon/\varepsilon)$ – параметр, характеризующий мощность звука; L , λ – длины волн звука и света; ε , $\Delta\varepsilon$ – диэлектрическая проницаемость и ее приращение, вызванное акустической волной; ω_0 – размер перетяжки пучка; α – угол рассеяния света, отсчитываемый от угла Брэгга; x – координата, вдоль которой распространяется акустическая волна; L – длина АО взаимодействия вдоль оси y , которая направлена ортогонально плоскости Z .

Отметим, что основная доля рассеянной в 1-й порядок световой энергии сконцентрирована в сравнительно небольшом угле согласно одному из основных свойств

АО взаимодействия: расходимость дифрагировавшего поля определяется наименьшей из расходимостей взаимодействующих светового (падающего) и акустического полей [10]. Так, расходимость дифрагировавшего поля α_0 будет заведомо не больше расходимости звука $\varphi_a \approx L/\lambda$ (типичные $\varphi_a \leq 1^\circ$). Область изменения координаты x , по сути, ограничивается областью перетяжки (т. е. ее размер меньше 4–5 мм). Прямые расчеты, сделанные в предположении $W \ll 1$, т. е. при малой мощности звука, показывают, что интеграл в (2) при расходимостях света, примерно равных расходимости звуковой волны, слабо влияет на интенсивность I_1 , которая будет определяться в основном множителем $W^2\omega_0/\lambda$. Иными словами, I_1 растет линейно с увеличением ω_0 . Это подтверждается и расчетами, сделанными в [10], где исследована зависимость эффективности дифракции от мощности звука при разных соотношениях расходимостей падающего света и звуковой волны.

Начальные участки зависимостей, полученных в [10], имеют линейный характер, угол наклона прямых существенно зависит от размера перетяжки падающего пучка и падает с уменьшением ω_0 . Это означает, что области с большей пространственной когерентностью (т. е. с более крупной структурой) будут дифрагировать с гораздо большей эффективностью, чем мелкозернистые участки поля. При больших мощностях звука такого существенного различия не наблюдается. Исследования показывают [3, 4], что в этом случае различие эффективностей дифракции полей с разной степенью когерентности не превышает $\sim 10\%$.

Обнаруженное явление может быть использовано для улучшения характеристик передаваемого оптического изображения, фильтрации оптического излучения по степени пространственной когерентности и т. п.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-01-00039).

1. Friberg A.T., Tervonen E., Turunen J. *J. Opt. Soc. Am. A*, **11**, 1818 (1994).
2. Chen-Wen Tarn. *J. Opt. Soc. Am. A*, **14**, 2231 (1997).
3. Vahimaa P., Turunen J. *J. Opt. Soc. Am. A*, **14**, 54 (1997).
4. Chen-Wen Tarn. *J. Opt. Soc. Am. A*, **16**, 1395 (1999).
5. Котов В.М., Шкердин Г.Н., Шкердин Д.Г., Булюк А.Н., Тихомиров С.А. *Квантовая электроника*, **31**, 839 (2001).
6. Kogelnik H. *Bell Syst. Tech. J.*, **48**, 2909 (1969).
7. Балакшиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. *Физические основы акустооптики* (М.: Радио и связь, 1985).
8. Раковский В.Ю., Щербаков А.С. *ЖТФ*, **60** (7), 107 (1990).
9. Schell A.C. *IEEE Trans. of Antennas and Propagation*, **15**, 187 (1967).
10. Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. *Акустооптические устройства и их применение* (М.: Сов. радио, 1978).