

# САМОРЕМОНТ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТРАНСПАРАНТА В ПЛОСКОСТЯХ ТАЛЬБОТА

Малов А.Н., Феценко В.С.

Иркутский государственный технический университет  
Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко

## Аннотация

В работе экспериментально рассмотрен эффект самореставрации изображения периодического объекта в плоскостях Тальбота. Путем сравнительного исследования параметров изображения в параксиальной области и в боковых лепестках дифракции показано, что изображение в боковых лепестках более устойчиво к повреждениям исходного транспаранта. На основании этих исследований, проанализированы механизмы, влияющие на ухудшение качества изображения в параксиальной области и в боковых лепестках.

## Введение

Использование когерентно-оптических методов и систем для обработки, представления и хранения информации обеспечивает прогресс в современных информационных технологиях. В связи с этим, уже длительное время, большой интерес вызывает изучение пространственно-периодических электромагнитных полей, возникающих при дифракции света на периодических транспарантах, которые используются в лазерных технологических установках [1], системах промышленной и бесконтактной диагностики и метрологии [2, 3], при обработке оптической информации и построения изображений [2, 4, 5].

Особое внимание при этом уделяется количественному и качественному изучению эффекта Тальбота [2]. Это связано с таким интересным свойством изображений построенных с помощью этого эффекта, как самореставрация [6, 7]. К настоящему времени проведено множество исследований как эффекта Тальбота, так и связанного с ним эффекта самореставрации. Но если для эффекта Тальбота разработана глубокая теория, например [8-11], то исследования эффекта самореставрации носили в основном прикладной и преимущественно качественный характер [12]. Кроме того, незаслуженно была обойдена вниманием непараксиальная область при дифракции Френеля. Так, если для пространственных частот разделенных при дифракции Фраунгофера в когерентной оптике закрепился термин «порядок дифракции», то для изображений, получаемых в этой области при дифракции Френеля, даже нет своего особого термина. В данной статье мы использовали для их обозначения и разграничения с изображениями, полученными в классическом эффекте Тальбота, термин, взятый из радиофизики – «боковой лепесток», по аналогии с боковым лепестком диаграммы направленности антенны.

Ранее [13-15] нами были качественно рассмотрены свойства изображений периодического объекта при внеосевом эффекте Тальбота. В [13] было показано, что можно, используя пространственные частоты  $f_x$  и  $f_y$  от двух разных транспарантов с одинаковым рисунком, синтезировать полноценные изображения во внеосевой области, т.е. в боковых лепестках. Было замечено, что качество этих изображений было выше, чем в классическом эффекте Тальбота. Кроме того, было сделано предположение, что эти изображения должны быть более ус-

тойчивы к повреждениям первоначального транспаранта, т.к. пространственный спектр повреждений обычно уже пространственного спектра элементарных изображений.

В этой работе мы количественно и качественно исследуем свойства изображений в плоскостях Тальбота путем сравнения их свойств в параксиальной области и в боковых лепестках.

## Методика эксперимента

Для подтверждения заключений сделанных в [13] были проделаны эксперименты по изучению влияния повреждения периодического транспаранта на качество изображений в приосевых плоскостях Тальбота и в боковом лепестке.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. В качестве источника когерентного излучения мы использовали HeNe лазер ЛГН-222, мощностью до 30 мвт (1). Излучаемый им пучок лазерного света расширялся длиннофокусной линзой (2) и попадал на периодический транспарант (3) (диаметр светового пятна на транспаранте достигал 20 мм), где происходила дифракция света. Затем, распространяясь в свободном пространстве, свет попадал на экран (4) расположенный в одной из плоскостей Тальбота. Изображения в плоскости Тальбота фиксировались с помощью электронного фотоаппарата (7) и вводились в компьютер (8), где затем обрабатывались и анализировались с помощью графических программ.

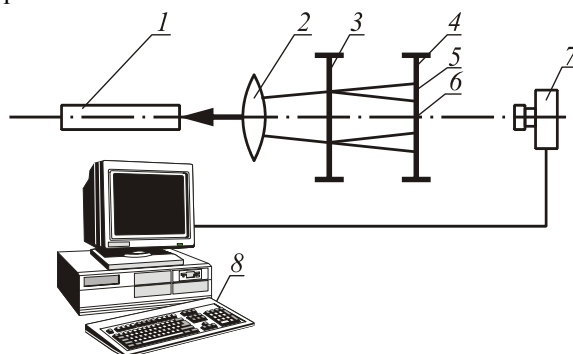


Рис. 1. Схема эксперимента.  
1 – лазер; 2 – линза; 3 – периодический транспарант;  
4 – экран;  
5 – изображения построенные в боковом лепестке;  
6 – изображение построенные в параксиальной области; 7  
– электронный фотоаппарат; 8 – компьютер

Нами производилось пять снимков изображений с одной точки при одной экспозиции и после этого каждое изображение вводилось в компьютер и обрабатывалось отдельно. Затем результат усреднялся.

Фазовые транспаранты размером 35x25 мм изготовлялись по методике дубящего отбеливания [16]. Они были абсолютно прозрачными, с коэффициентом мультипликации равным 7. Период транспарантов составлял  $d=0,6 \text{ мм}^{-1}$ .

Повреждения наносились в виде квадрата в центральной области транспаранта с помощью абсолютно непрозрачных черных чернил под микроскопом. Всегда закрашивалось целое число изображений. Количество закрашенных изображений соотносилось со всеми освещенными лазерным пучком изображениями и выражалось в процентах.

В качестве обобщенного критерия качества изображений нами был принят средний контраст изображения выраженный по следующей формуле:

$$K_a = \left[ \sum_{n=0}^N (I_{\max} - I_{\min})_n \right] / N \quad (1)$$

где  $(I_{\max} - I_{\min})$  – разность между интенсивностью соседних максимумов и минимумов,  $N$  – количество измерений.

Нами также фиксировалась средняя интенсивность изображения.

$$I_a = \sum_0^N I_n / N \quad (2)$$

где  $I_n$  – интенсивность излучения в каждой точке изображения,  $N$  – количество измеренных точек.

В связи с тем, что общая интенсивность изображения в боковых лепестках ниже, чем в параксиальной области мы производили нормировку среднего контраста и средней плотности относительно этих же параметров изображения без повреждений. Что можно выразить в виде соотношений:

$$K_{norm} = \left( \left[ \sum_{n=0}^N (I_{\max} - I_{\min})_n \right]_{повр} / \left[ \sum_{n=0}^N (I_{\max} - I_{\min})_n \right]_{неповр} \right) \times 100\% \quad (3)$$

и

$$I_{norm} = \left( \left[ \sum_0^N I_n \right]_{повр} / \left[ \sum_0^N I_n \right]_{неповр} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Этот пересчет производился для корректного сравнения изменения качества изображений в параксиальных областях и в боковых лепестках.

### Результаты экспериментов и обсуждение

Результаты эксперимента представлены на рис. 2 в виде графиков.

Из рис. 2а видно, что средний контраст изображения в параксиальной области (1) ведет себя, как и

следовало ожидать, т.е. он монотонно уменьшается с увеличением количества повреждений. Это связано как с уменьшением общей интенсивности изображения в центральной области (рис. 2б), так и с повышением общего уровня шумов, вносимых нарушением регулярной структуры изображения и дифракцией света на краях дефекта.

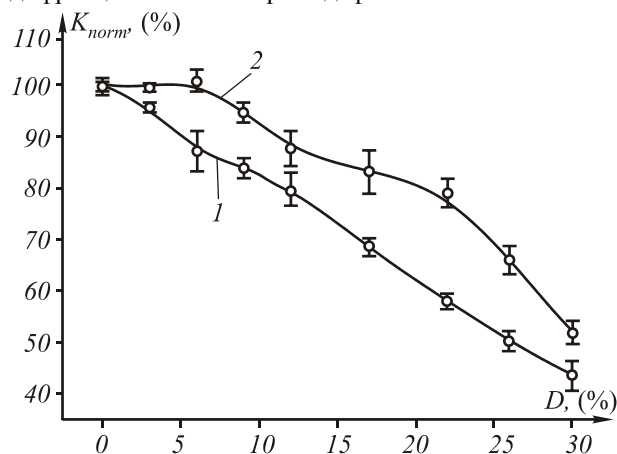


Рис. 2а. Зависимость нормированного контраста изображения от процента повреждения исходного изображения: 1 – в параксиальной области, 2 – в непараксиальной области

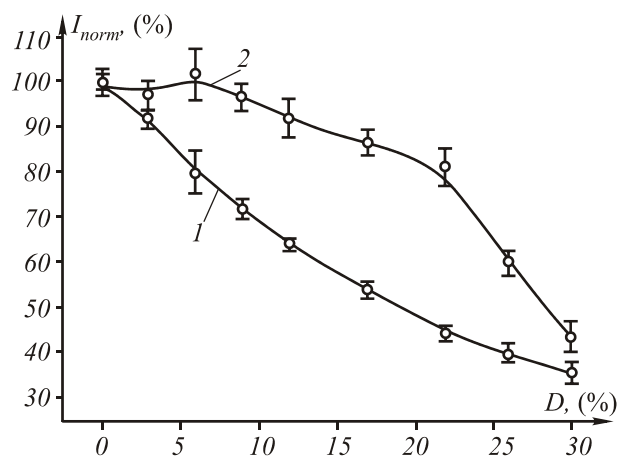


Рис. 2б. Зависимость нормированной интенсивности изображения от процента повреждения исходного изображения: 1 – в параксиальной области, 2 – в непараксиальной области

В непараксиальном регионе наблюдается несколько иная картина. Сначала (вплоть до 6% повреждений) нормированный контраст не изменяется. А затем он начинает монотонно уменьшаться с той же скоростью, что и контраст в параксиальной области, графики практически параллельны друг другу. Общая интенсивность изображения в непараксиальной области тоже имеет плато до 6% повреждений. Затем падение ее значений происходит медленнее, чем интенсивности в параксиальной области. И только после 20% происходит резкое падение общей интенсивности в боковом лепестке.

Такое разное поведение характеристик изображений в параксиальном регионе и в боковых лепестках говорит о том, что механизмы ухудшения изображения при разной степени повреждения несколько отличаются.

На первом этапе, когда дефект занимает до 6% площади транспаранта, основной вклад в ухудшение контраста изображения вносит дифракция излучения на краях дефекта. Нарушения регулярности структуры в этот момент практически незаметны. В параксиальной зоне наблюдается эффект саморемонта изображения [6, 7], при некотором снижении общей интенсивности. В боковых лепестках, интенсивность изображения в которых зависит исключительно от количества периодов регулярного транспаранта, на котором дифрагирует свет [17], в этот момент времени ничего не происходит. И общая интенсивность и общий контраст остаются без изменений, так как пространственный спектр дефекта никак не влияет на изображения в боковых лепестках дифракции.

При дальнейшем нарастании площади дефекта от 6% до 20% существенный вклад в ухудшение изображения начинает вносить уменьшение общей энергии излучения, преобразуемой в изображение за счет поглощения света на дефекте. Общий контраст и в параксиальной области, и в области боковых лепестков ухудшается, в основном, за счет уменьшения максимумов интенсивности и, соответственно, разности между максимумами и минимумами. В то же время начинает проявляться и нарушение регулярности структуры транспаранта. В это время в параксиальной области изображение вокруг дефекта и внутри него начинает искажаться и резко падает его интенсивность. В непараксиальной области при этом наблюдается более медленное падение общей интенсивности, что говорит о незначительном вкладе уменьшения периодов регулярного объекта в уменьшение интенсивности единичного изображения. Кроме того, изображение в непараксиальной области почти не искажается, что также подтверждает первоначальный тезис.

И, наконец, при размере дефекта более 20% начинает сказываться уменьшение количества периодов регулярного транспаранта, вносящих вклад в изображение. Это проявляется в резком падении интенсивности изображений в боковом лепестке, при монотонном уменьшении общего контраста. В параксиальной области в это время наблюдаются полное отсутствие изображений в центре дефекта и сильное искажение изображений вокруг него.

### **Заключение**

Гипотеза о том, что изображения в боковых лепестках являются более устойчивыми к дефектам исходного транспаранта, подтвердилась. Это дей-

ствительно происходит за счет более узкого пространственного спектра дефектов по сравнению с пространственным спектром единичных изображений. Это обстоятельство позволяет рекомендовать использовать для обработки и построения изображений боковые дифракционные лепестки.

### **Литература**

1. Bourdet Gilbert L., Lescroart G. Phase-coupled CO<sub>2</sub> laser array performance and lossless beam shaping // Proc. SPIE, 1998. V. 3549. P. 57-67.
2. Patorski K. The self-imaging phenomenon and its application. / Progress in optics, 1989. V. XXVII. P. 3-108.
3. Аристов В.В., Ерко А.И. Мартынов И.М. Оптика и спектроскопия на основе эффекта Тальбота // Опт. и спектр. 1988. Т. 64. № 3. С. 630-637.
4. Денисюк Ю.Н., Рамишвили М.М., Чавчанидзе В.В. О возможности получения пространственных изображений двумерных объектов без помощи линз и голографии // Опт. и спектр. 1971. Т. 30. С. 1130-1134.
5. Chavel N., Strand T.S. Range measurement using Talbot diffraction imaging of gratings // Appl. Opt., 1984. V. 23, № 6. P. 862-871.
6. Damman H., Groh G. and Kock M. Restoration of faulty images of periodic objects by means of self-imaging // Appl. Opt., 1971. V. 10. P. 1454-1455.
7. Kalestynski A. and Smolinska B. Self-restoration of the autoidolon of defective periodic objects // Optica Acta, 1978. V. 9. P. 125-134.
8. Lord Rayleigh On copying diffraction-gratings, and on some phenomenon connected therewith // Philos.Mag., 1881. V. 11. P. 196-205.
9. Cowley J.M. and Moodie A.F., Fourier images // Proc.R.Soc.London Ser., 1957. B. 70. P. 486-496.
10. Jahns J., Lohmann A.V., Ojeda-Castaneda J. Self-imaging effect-A new approach // Opt. Acta, 1984. V. 31. № 3. P. 313-324.
11. Cheng Yih-Shyang and Chang Ray-Chung Theory of image formation using the Talbot effect // Appl. Opt., 1994. № 10. P. 1863-1874.
12. Lohmann A.W., Thomas J.A. Making an array illuminator based on the Talbot effect // Appl. Opt., 1990. V. 29. № 29. P. 4337-4340.
13. Корфуненко О.А., Малов А.Н., Фещенко В.С. Мультипликация изображений с помощью внеосевого эффекта Тальбота // Компьютерная оптика, ИСОИ РАН. Самара-Москва, 1999. Вып. 19. С. 71-73.
14. Feshchenko V.S., Malov A.N., Rogozhnikova O.A., Vigovsky Y.N., Feshchenko L.V. Lensless optical image processing of periodical object // Proc. SPIE, 2001. V. 4513. P. 136-143.
15. Feshchenko V.S., Malov A.N., Rogodjnikova O.A., Vigovsky Y.N. Nonparaxial Talbot effect // Proc. SPIE, 2003. V. 5134. P. 108-119.
16. Vigovsky Y.N., Konop A.G., Konop S.P., Malov A.N., Malov S.N., Feshchenko V.S. New dichromatid gelatine technologies for the diffraction optical elements fabrication // Proc. SPIE, 1998. V. 3347. P. 314-324.
17. Борн М., Вольф Э. Основы оптики // М.: Наука, 1970. - 855 с.