

07

Одномерный диффузор для системы формирования трехмерных изображений

© Е.Б. Бруй, В.В. Орлов

Всероссийский научный центр "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", С.-Петербург

Поступило в Редакцию 25 ноября 1997 г.

Рассмотрен метод получения на фотопластинке диффузора, индикатриса рассеяния которого в одном направлении более чем на два порядка шире, чем в перпендикулярном направлении. В соответствии с этим методом особая картина спеклов записывается на фотопластинке. Описана фотохимическая обработка фотопластинки, при которой у полученного диффузора отсутствует нулевой порядок дифракции. Рассмотрено отличие теоретической от экспериментально измеренной индикатрисы рассеяния диффузора. Это отличие связывается с влиянием нелинейности процесса получения диффузора.

В работе [1] был предложен новый метод создания трехмерных изображений, основанный на формировании матрицы сфокусированных аспектов сцены. В экспериментальной части работы [2] эффективность метода проверялась применительно к частному случаю, когда трехмерный дисплей воспроизводит только горизонтальный параллакс. В этом случае используется одномерный диффузор, который, рассеивая излучение только в вертикальном направлении, расширяет в этом направлении размер окна наблюдения. Для обеспечения равномерной яркости наблюдаемого изображения у диффузора должен отсутствовать нулевой порядок дифракции. В настоящей работе рассмотрен метод получения такого диффузора.

В качестве одномерного диффузора нами использовалась фотография картины спеклов, сформированных вертикальной световой линией. (Здесь и далее в качестве горизонтального направления принято направление, в котором должен воспроизводиться параллакс, т.е. направление оси, соединяющей зрачки глаз наблюдателя). Световая линия формировалась когерентной световой цилиндрической волной, ($\lambda = 632.8$), сфокусированной на матовое стекло. Распределение интенсивности диффузного пучка регистрировалось на фотопластинке

PFG-03C размером 123×102 mm, расположенной в 300 mm от матового стекла и ориентированной таким образом, что наиболее длинная сторона фотопластинки была перпендикулярна светящейся линии на матовом стекле. Непрерывность интенсивности диффузного пучка на поверхности фотопластинки характеризовалась следующими величинами: при максимальной интенсивности в центре фотопластинки, принятой за 100%, интенсивность у верхнего и нижнего краев фотопластинки составляла 73%, у правого и левого краев 53%. Экспозиция фотопластинки в ее центре составила 0.8 mJ/cm^2 .

Фотохимическая обработка экспонированной фотопластинки включала в себя следующие операции:

| № операции | Операция |
|------------|--|
| 1 | Проявление в проявителе ПРГ |
| 2 | Промывка в воде |
| 3 | Усиление в растворе, содержащем AgNO_3 |
| 4 | Промывка в воде |
| 5 | Фиксирование в фиксаже F8 |
| 6 | Промывка в воде |
| 7 | Отбеливание в модифицированном отбеливателе R10 |
| 8 | Промывка в воде |
| 9 | Обезвоживание в 50% и 100% растворах изопропилового спирта |
| 10 | Сушка |

Проявление было контрастным и недубящим и имело целью получить максимально возможную плотность изображения равномерно по всей толщине слоя. Операция усиления была введена для увеличения рельефа на поверхности слоя. При этом суперпропорциональный характер усиления приводил к значительному росту оптической плотности в экспонированных участках фотослоя, что в сочетании с дубящим отбеливанием увеличивало поверхностный рельеф [3]. В процессе операции дубящего отбеливания вокруг проявленных зерен серебра происходило задубливание молекул желатины. Состав отбеливающей ванны подбирался таким образом, чтобы создать оптимальные условия дубления слоя. В ходе последующего обезвоживания в спиртовых растворах в слое формировалось изображение за счет модуляции показателя преломления задубленной и незадубленной желатины, аналогично процессам,

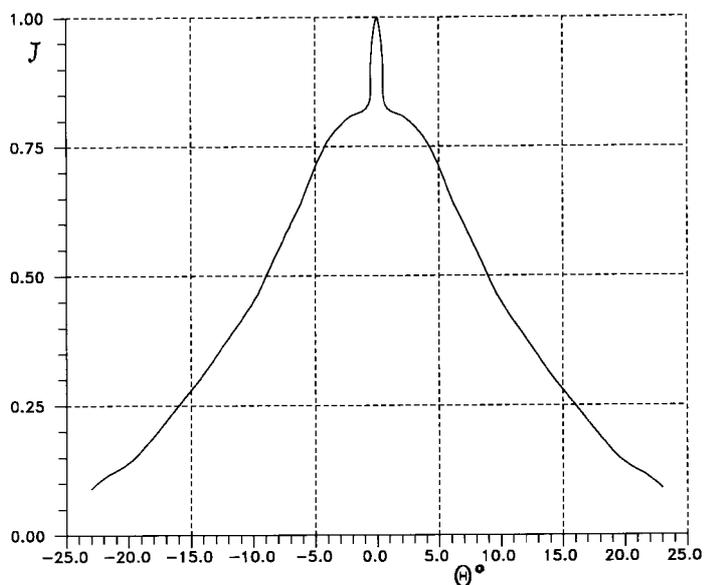


Рис. 1.

происходящим в слоях бихромированной желатины. В результате такой фотохимической обработки изображение картины спеклов в фотослое состояло из трех компонентов: отбеленных зерен серебра, задубленной желатины и поверхностного рельефа. В сумме все три компонента позволили получить достаточно большую амплитуду модуляции оптической толщины диффузора, чтобы полностью устранить его нулевой порядок дифракции. Весьма слабый нулевой порядок дифракции наблюдался лишь на краях диффузора, где он был обусловлен меньшей интенсивностью диффузного пучка при экспонировании фотопластинки.

Мы измерили индикатрису рассеяния полученного одномерного диффузора в вертикальном и в горизонтальном направлениях на длине волны 632.8 нм. Индикатриса рассеяния в вертикальном направлении представлена на рис. 1. Полуширина индикатрисы, т.е. ширина на уровне 0.5 от максимального значения, в вертикальном направлении составляет 18°. На рис. 2 представлена индикатриса рассеяния в

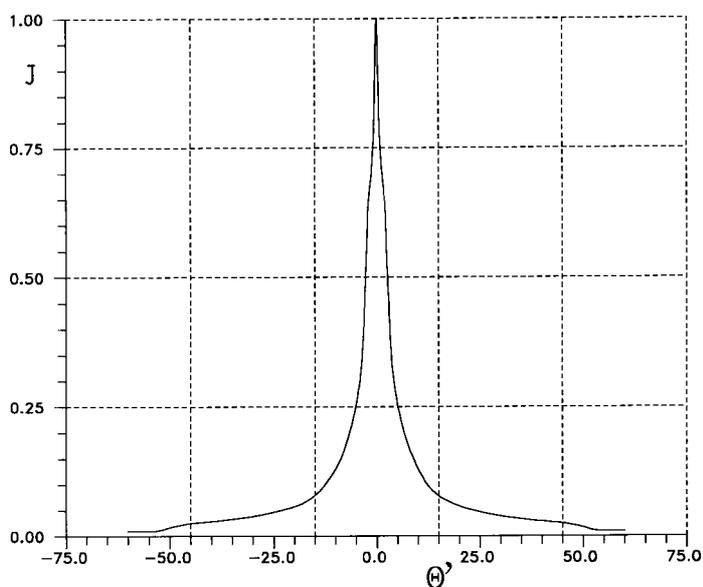


Рис. 2.

горизонтальном направлении. Ее полуширина составляет 6.6 угловых минут. Обсудим полученные результаты. Индикатриса рассеяния диффузора определяется спектром пространственных частот его амплитудного пропускания. При линейности процесса получения диффузора, т. е. при линейной зависимости амплитудного пропускания фотопластинки от экспозиции, спектр пространственных частот амплитудного пропускания пропорционален спектру пространственных частот распределения интенсивности диффузного пучка в плоскости фотопластинки. Нетрудно показать, что в этом случае диффузор должен рассеивать излучение таким образом, чтобы полуширина индикатрисы рассеяния в вертикальном и горизонтальном направлениях была равна соответствующим угловым размерам световой линии на матовом стекле при ее наблюдении из центра фотопластинки. Ширина индикатрисы рассеяния в вертикальном и горизонтальном направлениях должна быть равна удвоенному угловому размеру световой линии в данном направле-

нии [4]. Процесс получения диффузора, использованный нами, нелинеен, поскольку амплитудное пропускание полученного диффузора чисто фазовое. В результате этой нелинейности спектр пространственных частот диффузора существенно изменился и обогатился более высокими пространственными частотами. Полуширина индикатрисы рассеяния в вертикальном направлении, как это видно из рис. 1, равна 18° , что в 2.25 раза превысило 8° -угловой размер световой линии на матовом стекле в этом направлении. Чтобы оценить влияние нелинейности процесса получения на индикатрису рассеяния в горизонтальном направлении, мы измерили в этом направлении распределение интенсивности световой линии. Это распределение интенсивности представляло собой узкий высокий пик шириной $23 \mu\text{m}$, расположенный на плато шириной $345 \mu\text{m}$. Такое неравномерное распределение интенсивности в световой линии было обусловлено абберациями цилиндрической линзы, использованной для ее формирования. Угловые размеры пика и плато распределения интенсивности относительно центра фотопластинки составили $0.25'$ и $3.8'$ соответственно. Сравнивая данные значения с полушириной индикатрисы рассеяния в горизонтальном направлении (рис. 2) $5.2'$ и ее шириной $110'$, мы видим, что в результате нелинейности полуширина индикатрисы рассеяния, зависящая от ширины пика, увеличилась в 21 раз, а ширина индикатрисы, зависящая от ширины плато, в 14 раз.

Имея в виду, что полуширина индикатрисы рассеяния в вертикальном направлении увеличилась лишь в 2.25 раза, мы видим, что нелинейность процесса получения одномерного диффузора сильнее влияет на низкие пространственные частоты амплитудного пропускания диффузора, ответственные за рассеяние в горизонтальном направлении, чем на высокие пространственные частоты, ответственные за рассеяние в вертикальном направлении. Полученный указанным способом одномерный диффузор использовался нами при реконструкции изображения, воспроизводящего только один горизонтальный параллакс, по схеме, аналогичной приведенной в работе [2]. Эксперимент показал, что наличие горизонтальной составляющей индикатрисы рассеяния снижает контраст изображения. Для того чтобы горизонтальная составляющая индикатрисы рассеяния не влияла на качество наблюдаемого изображения, достаточно, чтобы ее ширина не превышала $1'$ -угловую разрешающую способность глаза. Для получения столь узкой индикатрисы рассеяния необходимо на поверхности матового стекла формировать более узкую — дифракционно ограниченную световую линию.

Авторы благодарны Ю.Н. Денисюку за полезное обсуждение работы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований — грант N 97-02-18285, а также Международного Фонда CRDE — грант N RE2-162.

Список литературы

- [1] Денисюк Ю.Н. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. N 9. С. 92–95.
- [2] Денисюк Ю.Н., Марков В.Б., Ганжерли Н.М. // Опт. и спектр. 1998. Т. 84. В. 1.
- [3] Brui E.B., Galashkina I.V. // Тез. Междунар. конференции NCOSRM, Черновцы, 1993. SPIE. V. 2108. P. 196–197.
- [4] Гудмен Дж. // Введение в фурье-оптику. М., Мир, 1970. 364.