

ных результатов показано, что в отличие от распространенных представлений при моделировании течений газа на «мелководье» существуют области, границы которых соответствуют тангенциальным разрывам трехударной конфигурации.

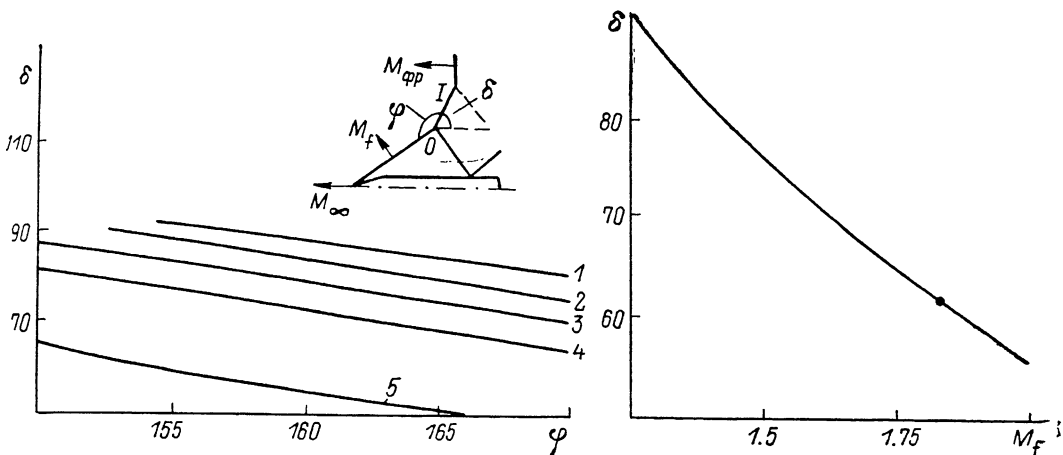


Рис. 2. Зависимость $\delta = f(\varphi, M_f)$.

Сплошные линии — результаты численного расчета (коэффициент адиабаты 1,8; точка — результат моделирования на «мелкой воде». M_f : 1 — 1.25, 2 — 1.3, 3 — 1.4, 4 — 1.5, 5 — 1.85.

Список литературы

- [1] Виноградов Р. И., Жуковский М. И., Якубов И. Р. Гидравлическая аналогия и ее практическое приложение. М.: Машиностроение, 1978. 152 с.
- [2] Гилинский М. М., Лебедев М. Г., Якубов И. Р. Моделирование течений газа с ударными волнами. М.: Машиностроение, 1984. 192 с.
- [3] Дитман А. О., Савчук В. Д., Якубов И. Р. Методы аналогий в аэродинамике летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1987. 150 с.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
7 апреля 1988 г.

АНОМАЛЬНЫЙ БРЭГГОВСКИЙ РЕЗОНАНС ПРИ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ФОТОЭМУЛЬСИОННОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ

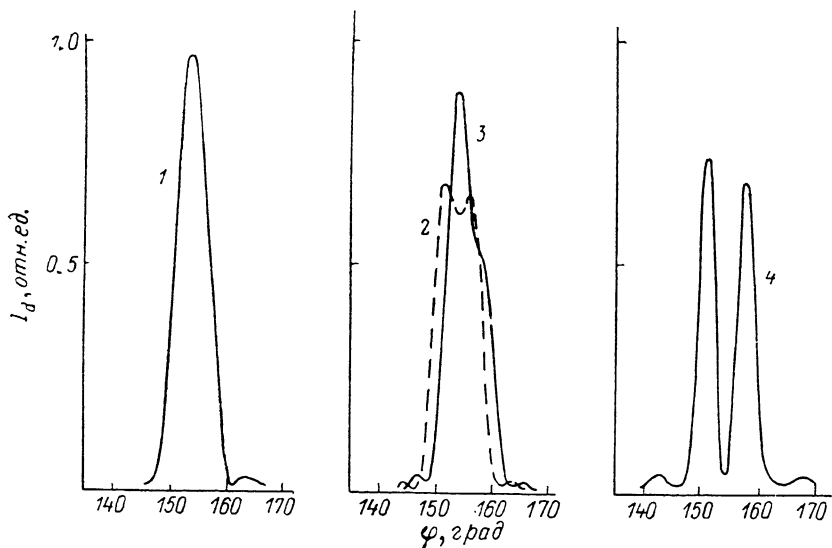
О. Н. Карнович, В. В. Крылов, Ю. П. Удоев

Угловая зависимость дифракционной эффективности (ДЭ) фотоэмульсионных голографических решеток с достаточно высокой пространственной частотой имеет хорошо выраженный резонансный характер, причем максимум ДЭ достигается при угле Брэгга [1]. При исследовании голографических решеток пропускающего типа, приготовленных по методике [2, 3], нами обнаружено аномальное поведение угловой зависимости ДЭ, проявляющееся в необычной форме брэгговского пика или наличии резкого провала ДЭ в центре этого пика.

Решетки с пространственной частотой ~ 1000 лин/мм записывались на пластинках ВРЛ по симметричной схеме в сходящихся лазерных пучках с отношением интенсивностей порядка 1 : 1 на длине волны 0.63 мкм. Апертура пучков в зоне интерференции была $\sim 12 \times 12$ мм. После экспонирования проводилась следующая обработка: проявление в Д-19, промывка, отбеливание в растворе R-10, содержащем КJ, промывка, фиксирование в кислом фиксаже, длительная промывка, последовательное купание в 80%- и 100%-й изопропаноловых ваннах и сушка на воздухе при комнатной температуре. Угловые зависимости

автоматически регистрировались с помощью установки, включающей вращающийся столик, на котором была укреплена решетка, усилитель постоянного тока и электронный потенциометр. Измерения проводились в неразведенном лазерном пучке ($\lambda = 0.63$ мкм), причем как на стадии записи решеток, так и при измерениях ДЭ использовалась s-поляризация световой волны. Для уменьшения влияния неидентичности свойств экспонируемых фотоэмульсионных слоев и условий химической обработки каждая серия решеток записывалась на одной и той же пластинке. Для оценки реальной эффективности использованных экспозиций проводились измерения оптической плотности контрольных образцов, полученных при тех же временах экспонирования и освещения одним из пучков и обработанных только в проявителе Д-19 и фиксаже.

Характерный вид угловых зависимостей ДЭ для серии решеток, полученных при различных временах экспонирования, показан на рисунке. При временах экспонирования,



Зависимость интенсивности I_d дифрагированного пучка от угла падения φ освещающего пучка.

Время экспонирования, с: 1 — 4, 2 — 8, 3 — 12, 4 — 32. По оси абсцисс указаны непосредственные отсчеты по шкале вращающегося столика (нормальное падение соответствует $\varphi \approx 135^\circ$).

соответствующих оптическим плотностям контрольных образцов ≤ 3 , угловая зависимость ДЭ имела обычный вид (кривая 1). При увеличении времени экспонирования в брэгговском пике возникала структура, проявляющаяся либо в наличии изгибов на склоне пика, либо в появлении небольшого провала в центре пика (кривые 2, 3). Наконец, при больших временах экспонирования, соответствующих оптической плотности контрольных образцов более 4.5, в центре пика возникал резкий провал (кривая 4). Регистрируемое угловое положение центрального минимума и пиков на кривых 1—4 несколько изменялось при изменении экспозиции и при повторных экспозициях, что могло быть связано прежде всего с неконтролируемым отклонением (до $\sim 1^\circ$) от симметричности схемы записи при изменении расположения фотопластинки. Максимальные абсолютные значения ДЭ решеток сначала увеличивались с ростом экспозиции, а потом незначительно уменьшались. Относительная ДЭ, рассчитываемая по интенсивностям пучков в проходящем свете, была достаточно высокой (59.8 % в максимуме кривой 1), однако абсолютная ДЭ была значительно ниже (28.3 % для той же кривой). Интенсивности проходящих пучков контролировались в дальней зоне только в пределах апертуры, несколько превышающей апертуру падающего пучка, и значительное различие абсолютной и относительной ДЭ для большинства образцов в основном было обусловлено шумовым рассеянием.

Дополнительные эксперименты показали следующее: а) минимум в центре брэгговского пика возникает и при других пространственных частотах в диапазоне до ~ 2000 лин/мм, хотя глубина минимума меньше; б) при наложении на поверхность решетки стеклянной пластинки с иммерсионной жидкостью абсолютная величина ДЭ и глубина минимума значительно уменьшаются, причем существенные изменения возникают не сразу после создания

иммерсионного слоя, а через длительные (часы) время; в) при проявлении в растворе ГП-2: наблюдался обычный вид угловых зависимостей, причем ширина пика по основанию примерно соответствовала расстоянию между вершинами двух пиков на кривых типа 4; г) факт появления минимума зависит от длительности хранения пластинок и номера эмульсии, т. е. от предыстории фоточувствительного слоя. Для сравнения отметим, что применение той же методики обработки к пластинкам ЛОИ-2 и ПЭ-2 позволило получить высокие значения относительной ДЭ (до 83—92 %) при абсолютных значениях ДЭ до ~64 %, причем при варьировании условий получения решеток минимум ДЭ не возникал.

Малая величина ДЭ в центре глубокого провала и относительно большая угловая ширина этого провала указывают, что его появление нельзя объяснить интерференционными явлениями на границах подложки и слоя с воздухом. Абсолютная ДЭ в отраженном свете при подавлении френелевского отражения от задней границы подложки не превышала 0.01 %, что не позволяет связать появление провала с влиянием обычного рельефа на поверхности эмульсионного слоя, возникающего при многих видах технологий изготовления голографических решеток на фотоэмульсионных материалах. Более обоснованным представляется объяснение обнаруженной аномалии сложной внутренней структурой периодически модулированного по показателю преломления желатинового слоя. Учитывая угловую локализацию пика в целом, различие угловых ширин этого пика и области провала и качественное сходство обсуждаемой аномалии с некоторыми угловыми зависимостями ДЭ, полученными ранее для двойных ультразвуковых решеток [4], можно предположить, что возникающая структура эквивалентна наличию двух объемных решеток с различной эффективной глубиной и сдвинутыми относительно друг друга плоскостями.

Согласно [2, 3], используемая процедура обработки голограмм должна приводить после стадии длительной промывки к состоянию желатина, близкому к возникающему после стадии проявления в бихромированном желатине (БХЖ). Три последних стадии обработки полностью идентичны применяемым при записи голограмм на БХЖ. Исходя из различных представлений о механизме формирования фазовых решеток в БХЖ (см., например, [5, 6]), нельзя исключать, что система двух решеток является результатом одновременной реализации как «поверхностных», так и объемных механизмов. Отмеченный выше факт «г» можно было бы связать в этом случае с различной степенью исходной задубленности фотоэмульсионных слоев. Однако значительное влияние на вид угловых зависимостей могут оказывать также и другие факторы, например возникающие в процессе обработки искривления плоскостей решетки [7]. Поэтому для однозначного решения вопроса о причинах аномальных угловых зависимостей ДЭ рассмотренного типа нужны дополнительные исследования. Такие исследования могут оказаться полезными для уточнения механизмов голографической записи в БХЖ и фотоэмульсионных материалах, обработанных по методике [2, 3].

Авторы признательны В. А. Ванину и И. А. Михайлову, сообщившим нам о возможности получения высококачественных решеток на пластинках ПЭ-2 при обработке по методике [2].

Список литературы

- [1] Кольтер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. 687 с.
- [2] Chang B. J., Winick K. // SPIE. 1980. Vol. 215. P. 172—177.
- [3] Graver W. R., Gladden J. W., Eastes J. W. // Appl. Opt. 1980. Vol. 19. N 9. P. 1529—1536.
- [4] Cohen M. G., Gordon E. I. // Bell Syst. Techn. J. 1965. Vol. 44. N 4. P. 693—721.
- [5] Баженов В. Ю., Бурьякин Н. М., Васнецов М. В. и др. // УФЖ. 1982. Т. 27. № 1. С. 30—36.
- [6] Chang B. J., Leonard C. D. // Appl. Opt. 1979. Vol. 18. N 14. С. 2407—2417.
- [7] Васнецов М. В. // Опт. и спектр. 1986. Т. 61. Вып. 1. С. 178—179.

Ленинградский
политехнический институт
им. М. И. Калинина

Поступило в Редакцию
20 мая 1988 г.