

В. А. КОРНЕЙЧУК, Ю. Н. ПАРХОМЕНКО, А. В. СКРЫНСКИЙ, В. Д. ТРОНЬКО  
(Киев)

### ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПРОФИЛИРОВАННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

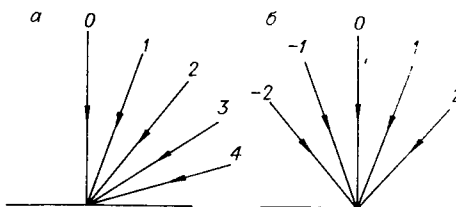
Широкое использование дифракционных оптических элементов в различных устройствах интегральной оптики, волоконно-оптических линиях связи и т. д. вызывает большой интерес к методам их изготовления. В настоящее время достаточно хорошо разработаны такие методы получения дифракционных решеток, как интерференционное фототравление [1] и селективное травление полупроводников [2]. Однако метод интерференционного фототравления не позволяет получить высококачественные концентрирующие решетки со значительной асимметрией профиля. Метод селективного травления применим только для кристаллических структур и не может быть использован в перспективных для интегральной оптики некристаллических структурах, таких как халькогенидостеклянные полупроводники.

В [3] описан оригинальный метод получения дифракционных решеток, в основе которого лежит многолучевая интерференция. Однако использование клиновидного интерферометра накладывает принципиальные ограничения, не позволяющие довести размерные параметры (шаг и диаметр) до требуемых.

В [4, 5] предложен и теоретически обоснован метод изготовления дифракционных решеток, также основанный на применении многолучевой интерференции и позволяющий увеличить дифракционную эффективность решеток за счет использова-

Рис. 1. Схема записи профилированных дифракционных решеток:

*a* — пространственными гармониками одного знака, *b* — пространственными гармониками разного знака



ния синтезированного сигнала на стадии записи. Цель данной работы — экспериментальная реализация метода получения профилированных дифракционных решеток.

Так как необходимо синтезировать периодический профиль, то оптический сигнал  $\mathcal{F}$  можно создать с помощью конечного числа плоских волн (пространственных гармоник), распространяющихся под углами  $\beta_m$  соответствующих дифракционных порядков решетки (рис. 1, *a*). При рабочей длине волны  $\lambda_0$  эти углы определяются из соотношения

$$\begin{aligned} \sin \beta_m &= m \operatorname{tg} \alpha, \\ m &= 0, 1, 2, \dots, \quad |m| \leq (\operatorname{tg} \alpha)^{-1}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\alpha$  — угол наклона штриха решетки. Из (1) следует, что при  $\operatorname{tg} \alpha \sim 1$  распространяющимися будут одна — две пространственные гармоники. Для увеличения числа пространственных гармоник и лучшей аппроксимации фазового профиля записи решетки можно производить на длине волны  $\lambda < \lambda_0$ . При этом направление пространственных гармоник будет определяться соотношением

$$\sin \beta_m = m(\lambda/\lambda_0) \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Из (2) следует, что при  $\operatorname{tg} \alpha \sim 1$  реальное число плоских волн не превышает 4—6 ( $m = 0, 1, 2, 3$ ). Как было показано в [4, 5], наилучшей аппроксимации профиля

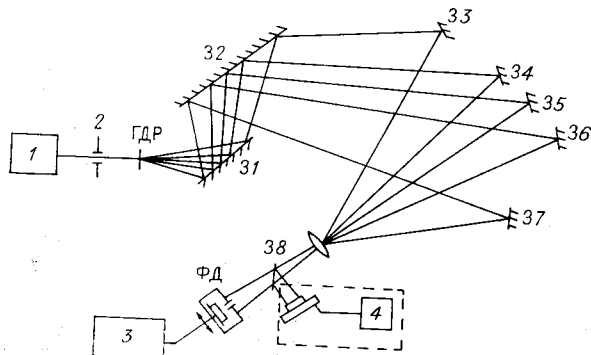


Рис. 2. Блок-схема установки для создания профилированных дифракционных решеток: 1 — ОКГ; 2 — диафрагма для фильтрации пространственных частот; 3 — цифровой вольтметр; 4 — прикладная телевизионная установка «Матрица»; 31, 32 — зеркала; 33 — 37 — пьезоэлектрические зеркала

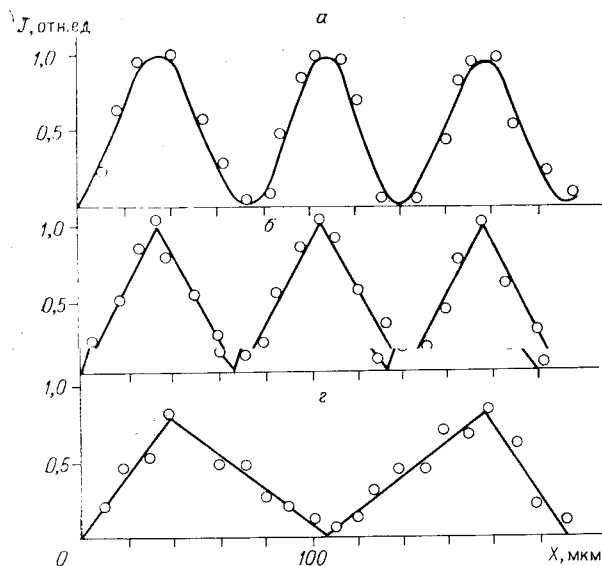


Рис. 3. Распределение интенсивности интерференционного поля для записи дифракционных решеток пространственными гармониками разного знака:

*a* — случай двух лучей; *б* — *г* — случай пяти лучей с различными фазами

штриха решетки можно добиться использованием пространственных гармоник разного знака (рис. 1, б) при условии, новки. Для получения пространственных гармоник луч лазера 1 расщепляется голографической дифракционной решеткой (ГДР) с профилем штрихов, близким к прямоугольному. Пьезоэлектрические зеркала 33—37 направляют излучение пространственных гармоник в плоскость ре-

гистрации под углами, определяемыми из соотношения (1).

Интенсивности лучей в зависимости от выбранной схемы записи устанавливаются нейтрально-серыми фильтрами. Фаза лучей изменяется приложением соответствующих напряжений на пьезоэлектрические зеркала. Распределение интенсивности интерференционного поля, увеличенное микроскопом, измеряется с помощью фотодетектора со щелью (ФД). Часть изображения отводится полупрозрачным зеркалом 38 на устройство видеоконтроля 4 — прикладную телевизионную установку «Матрица».

На рис. 3, *a* — *г* приведены результаты измерения распределения интенсивностей интерференционных полей для симметричной схемы записи. Для двух лучей (см. рис. 3, *a*) наблюдается обычное синусоидальное распределение интенсивности. На рис. 3, *б* — *г* даны распределения интенсивностей интерференционных полей для случаев пяти лучей при различных соотношениях фаз между лучами. Как видно из рис. 3, изменение разности фаз лучей позволяет эффективно перестраивать профиль дифракционной решетки и дает возможность получать дифракционные решетки с симметричным треугольным профилем (см. рис. 3, б), решетки с «блеском» (см. рис. 3, в) и дифракционные решетки со сложным асимметричным профилем (см. рис. 3, г). Использование нелинейной фоточувствительности материала позволяет реализовать решетки с трапециевидальным профилем штриха.

Для случая пространственных гармоник одного знака нами были изготовлены дифракционные решетки с размерами рабочей зоны  $10 \times 10$  мм и пространственной

№ п/п	Распределение интенсивности по порядкам дифракции, отн. ед.							
	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
1	30	4200	800	690	80	265	20 000	30
2	17	500	810	680	1740	460	600	22
3	14	87	460	990	990	460	87	14

частотой  $1000 \text{ мм}^{-1}$ . Запись решеток производилась второй гармоникой YAG: Nd-лазера ( $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$ ) на пластинки ВРП. В таблице приведены распределения интенсивностей по порядкам дифракции для амплитудных дифракционных решеток, записанных при различных амплитудах парциальных волн. Как видно из таблицы, предлагаемый метод позволяет создавать дифракционные решетки, концентрирующие излучение в один из порядков дифракции. Для отбеленных дифракционных решеток доля интенсивности в +1-й порядок дифракции достигала 45%.

Таким образом, теоретически обоснован и экспериментально осуществлен метод получения профилированных дифракционных решеток, позволяющий с помощью

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов Ш. И., Горячев Д. Н., Гуревич С. А. и др. Дифракционные решетки на поверхности GaAs, полученные методом интерференционного фототравления // ЖТФ.— 1976.— Т. 46, № 47.
2. Егоров Б. В., Карпов С. Ю., Мизеров М. Н. и др. Концентрирующие голографические дифракционные решетки // ЖТФ.— 1984.— Т. 54, № 10.
3. Вережкин В. А., Донцова В. В., Ленкова Г. А. Оптический способ изготовления киноформов // Автометрия.— 1978.— № 3.
4. Корнейчук В. А., Пархоменко Ю. Н., Скрынский А. В., Тронько В. Д. Оптический метод синтеза одномерных киноформов // Тез. докл. V Всесоюз. конф. по голографии.— Рига: ИФ АН ЛатвССР, 1985.
5. Корнейчук В. А., Пархоменко Ю. Н., Тронько В. Д. Оптический метод синтеза киноформных элементов // Квантовая электроника.— Киев: Наук. думка, 1986.— Вып. 30.

*Поступило в редакцию 17 июня 1986 г.*

УДК 621.317.08

**К. И. КАЧИАШВИЛИ, В. А. СТЕПАНОВ**  
(Тбилиси)

### ОЦЕНИВАНИЕ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕКОТОРЫХ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Работа посвящена проблеме определения оптимальных оценок параметров некоторых нерегулярных плотностей распределения вероятностей. В [1] в качестве стандартных аппроксимаций плотностей распределения вероятностей погрешностей измерения предложены следующие: нормальная, равномерная, треугольная, трапециевидная, антимодальные I и II, усеченная Рэлея, как наиболее характерные для погрешностей измерения. Из перечисленных плотностей распределения вероятностей нормальная и равномерная плотности наиболее изучены и широко представлены в специальной литературе [2—5], поэтому их исключим из дальнейшего рассмотрения. Остальные плотности распределения вероятностей являются нерегулярными [5].

Задача оценивания неизвестных параметров плотностей распределения вероятностей заключается в выделении в общем случае из бесконечного числа возможных значений этих параметров наилучших, обладающих свойствами несмещенности, эффективности и состоятельности [2, 5]. Ниже приводятся оценки неизвестных параметров рассматриваемых нерегулярных распределений вероятностей, полученные методом максимального правдоподобия и обладающие этими свойствами.

Для треугольного закона распределения вероятностей несмещенные, эффективные и состоятельные оценки неизвестных параметров имеют вид

$$\widehat{a}_H = x_{\min} - (x_{\max} - x_{\min}) \frac{A(n)}{1 - 2A(n)}; \quad (1)$$

$$\widehat{b}_H = x_{\max} + (x_{\max} - x_{\min}) \frac{A(n)}{1 - 2A(n)}, \quad (2)$$

где

$$A(n) = \frac{n+1}{2^n(2n+1)} + n \sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k \frac{(-1)^k}{2^{k+1}(2k+3)};$$

$x_{\min}$  и  $x_{\max}$  являются крайними членами вариационного ряда  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ , полученного упорядочением результатов наблюдений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с объемом выборки  $n$ .

Для трапециевидного, антимодальных I и II распределений вероятностей несмещенные, эффективные и состоятельные оценки неизвестных параметров вычисляются по соотношениям (1) и (2), только в этих случаях коэффициенты  $A(n)$  имеют соответственно вид: