

- [1] *Порай-Кошиц М. А.* Практический курс рентгеноструктурного анализа. М., 1960.
 [2] *Чжан Ш.* Многоволновая дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. М.: Мир, 1987.
 [3] *Ковьев Э. К., Симонов В. И.* // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 43. Вып. 5. С. 244—247.
 [4] *Вартаньянц И. А., Ковальчук М. В., Кош В. Г.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. Вып. 11. С. 630—633.
 [5] *Мессбауэр Р. Л., Парак Ф., Хоппе В.* // Мессбауэровская спектроскопия. М.: Мир, 1983. С. 12—43.
 [6] *Агранович В. М., Гинзбург В. Л.* Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. М.: Наука, 1979.
 [7] *Барышевский В. Г.* Каналирование, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях. Минск, 1982.
 [8] *Chapman L. D., Hsieh S. H., Colella R.* // Phys. Rev. B. 1984. Vol. 30. N 2. P. 1094—1096.
 [9] *Polikarpov I. V., Skadorov V. V.* // Phys. Stat. Sol. (b). 1987. Vol. 143. P. 11—17.

Научно-исследовательский институт
 ядерных проблем
 при Белорусском государственном университете
 им. В. И. Ленина
 Минск

Поступило в Редакцию
 22 февраля 1990 г.

07; 12

Журнал технической физики, т. 61, в. 4, 1991г

© 1991 г.

МНОГОГРАДАЦИОННАЯ ЛИНЗА ФРЕНЕЛЯ

*М. А. Голуб, Н. Л. Казанский, И. Н. Сисаян, В. А. Сойфер,
 Г. В. Успенцев, Д. М. Якуниенкова*

Формирование непрерывного микрорельефа киноформных линз Френеля [1] представляет значительные технологические трудности и лишь макетно решается отбеливанием фотопластинок. Эффективной технологией изготовления рельефно-фазовых линз Френеля со ступенчатым профилем зон является многократно повторяемое фотолитографическое травление [2] по набору бинарных фотошаблонов. Однако изготовление каждого фотошаблона из полного набора требует дополнительных затрат времени прецизионных генераторов изображений.

Определенные трудности вызывает и требование совмещаемости набора фотошаблонов, относящихся к одной линзе, но выполненных в разных сеансах работы генератора изображений.

В данной работе предложен и экспериментально апробирован метод формирования ступенчатого профиля по одному «серому» фотошаблону, имеющему непрерывный характер изменения оптической плотности. Характерной особенностью метода является экспонирование на всех этапах фотолитографии через один и тот же серый фотошаблон, но с разным специально подобранным временем экспозиции, обеспечивающим различную ширину колец.

Для изготовления линзы Френеля диаметра d с фокусом f на длину волны λ формировался серый фотошаблон размера μd с распределением оптической плотности $D \in [D_{\min}, D_{\max}]$ вида

$$D(\rho) = D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min}) \frac{1}{2\pi} \text{mod}_{2\pi} \varphi\left(\frac{\rho}{\mu}\right), \quad \rho \leq \mu \frac{d}{2}, \quad (1)$$

$$\varphi(r) = \frac{2\pi}{\lambda} (f - \sqrt{f^2 + r^2}), \quad r \leq \frac{d}{2}, \quad (2)$$

где $\mu \geq 1$ — масштаб фотошаблона, ρ — полярная координата в плоскости фотошаблона, r — полярная координата в плоскости линзы Френеля, $\varphi(r)$ — фазовая функция линзы Френеля, $\text{mod}_{2\pi}(\varphi)$ — наименьший положительный остаток от деления φ на кратные 2π .

Генерация серого фотошаблона диаметром $\mu d = 51.2$ мм, $\mu = 10$, $D_{\min} = 0.2$ и $D_{\max} = 2.0$ осуществлялась на растровом фотопостроителе $P = 1700$ с разрешением $\delta = 25$ мкм, управляемом ЭВМ согласно матрице $N \times N$ ($N = 2048$) отсчетов функции (1), (2) с $f = 97$ мм для $\lambda = 0.65$ мкм.

Проекционное экспонирование стеклянной подложки с нанесенным фоторезистом осуществлялось последовательно два раза через один серый шаблон (1) с уменьшением в 10 раз. При первом экспонировании время экспозиции подбиралось так, чтобы ширина засвеченных участков фоторезиста составляла в среднем 30—33 % от общей ширины кольцевой зоны. После обычных операций обработки фоторезиста, первого травления и очистки стекла, нанесения нового слоя фоторезиста осуществлялось второе экспонирование через тот же серый

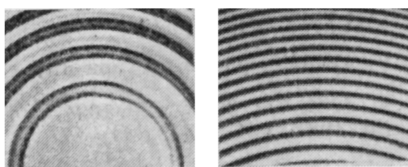


Рис. 1. Микроскопические изображения центральной и периферийной частей трехградационной линзы Френеля.

фотошаблон. Время второй экспозиции увеличивалось так, что ширина засвеченных участков фоторезиста составила в среднем до 50 % ширины зоны. Совмещение при двух экспозициях производилось визуально под микроскопом путем устранения муаровой картины между кромками колец рельефа первого этапа в стекле и темными границами зон фотошаблона. После второго травления стекла получена трехградационная линза Френеля, фото центральной и периферийной частей рельефа которой приведено на рис. 1.

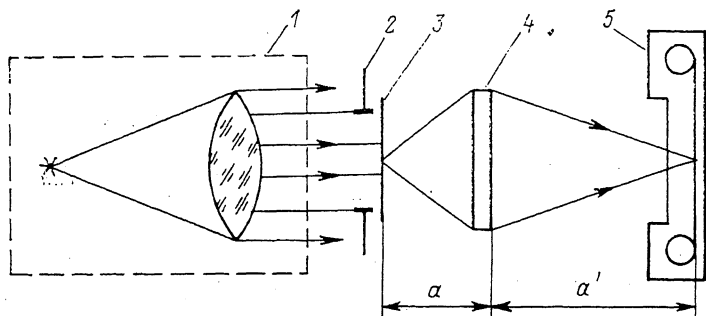


Рис. 2. Оптическая схема для исследования изображающих свойств линзы Френеля.

Измененная на микроинтерферометре МИИ-10 максимальная высота микрорельефа составила 0,95 мкм, что обеспечивает фазовый набег $4,2 \cdot \pi$, близкий к требуемому теоретическому значению $(M-1)/M2\pi$, $M=3$. Ширина последней зоны Френеля линзы 26 мкм.

Для получения изображения с помощью полученной линзы Френеля использовалась оптическая схема, представленная на рис. 2, с $a=202$ мм. Параллельный пучок света, выхо-

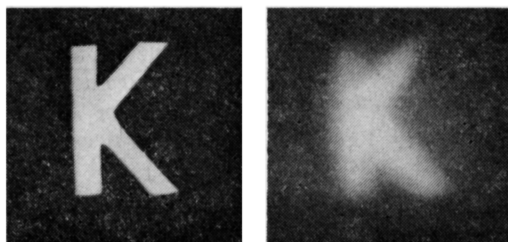


Рис. 3. Исходный предмет и его изображение, сформированное трехградационной линзой Френеля.

дящий из конденсора 1, через диафрагму 2 освещал предмет 3, в первом случае представлявший собой щели в виде буквы К в непрозрачном экране (рис. 2). Проецируемое линзой Френеля 4 изображение предмета 3 регистрировалось на фотопленку «Микрат 300» 5 (рис. 3), установленную в плоскости фокусировки с $a'=185$ мм. По формуле тонкой линзы оценка фокусного расстояния $f=96,6$ мм, что соответствует теоретическому значению 97 мм с учетом полихроматичности пучка и погрешностей определения расстояний a , a' . Полученные

результаты экспериментально подтверждают работоспособность трехградационной линзы Френеля, изготовленной по серому фотошаблону. Дальнейшее повышение качества линзы и ее изображающих свойств может быть достигнуто увеличением числа экспозиций и точности их проекционного совмещения.

Авторы благодарят А. А. Еремеева за выполнение фоторабот.

Список литературы

- [1] *Jordan J. A., Hirsch P. M., Lesem L. B., van Rooy D. L.* // *Appl. Opt.* 1970. Vol. 9. N 8. P. 1883—1887.
- [2] *Бобров С. Т., Грейсух Г. И., Турквич Ю. Г.* Оптика дифракционных элементов и систем. Л.: Машиностроение, 1986. 223 с.

Научно-техническое объединение
Центральное конструкторское бюро
уникального приборостроения АН СССР
Куйбышевский филиал

Поступило в Редакцию
31 января 1990 г.

03

Журнал технической физики, т. 61, в. 4, 1991

© 1991 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИССОЦИАЦИИ СЕРОВОДОРОДА В СМЕСИ С УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ В СВЧ РАЗРЯДЕ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

*А. З. Багаутдинов, В. К. Животов, И. А. Калачев, С. Ю. Мусинов,
А. М. Пампушка, В. Д. Русанов, В. М. Цоллер, П. Я. Эпп*

Процессы диссоциации сероводорода в плазме в настоящее время изучаются как теоретически, так и экспериментально [1, 2]. Поскольку ископаемому сероводороду часто сопутствует углекислый газ, то представляет интерес изучение процесса диссоциации H_2S в плазме в присутствии CO_2 [3, 4]. В [4] процесс диссоциации смеси H_2S-CO_2 (так называемый кислый газ) в плазме (СВЧ разряд мощностью до 2 кВт; $f=2.45$ ГГц) исследовался экспериментально (энерговклад порядка 3 Дж/см³, соотношение $H_2S:CO_2=1:2$; давление $P \sim 100$ Тор; энергозатраты на молекулу продукта-энергоносителя $H_2, CO \sim 2.1$ эВ/мол ≈ 2.5 кВт·ч/м³).

В данной работе исследование процесса диссоциации было проведено в СВЧ разряде в кислом газе ($H_2S:CO_2 \approx 6:5$) Оренбургского месторождения [5]. Одной из целей работы является изучение вопроса о масштабировании процесса, т. е. характере реакции при увеличении мощности разряда и давления при неизменном энерговкладе

$$E = \frac{W_{пл}}{Q^0} \quad (1)$$

(отношении величины вкладываемой в плазму мощности $W_{пл}$ к расходу газа на входе в плазматрон Q^0).

Исследовалась также важнейшая энергетическая характеристика процесса — зависимость энергозатрат на единицу количества продукта от энерговклада.

Схема эксперимента приведена на рис. 1. Кислый газ с установки аминной очистки природного газа через измеритель расхода — диафрагму 1, регулятор расхода — клапан 2 и узел закрутки газа 8 плазматрона подается в разрядную камеру 6, представляющую собой кварцевую трубу внутренним диаметром 100 мм. Продукты процесса после блока конденсации серы 4 поступают на вход вакуумных водокольцевых насосов 5. Измерение расхода газа Q^0 осуществлялось по стандартной методике путем замера перепада давления на диафрагме с учетом давления и температуры. Регулирование давления в разряде осуществлялось при помощи клапана 3 на байпасе вакуумных насосов.

В данном эксперименте двухуровневый СВЧ плазматрон [5] с четырьмя вводами энергии (тип волны H_{10}) был подключен к трем независимым источникам СВЧ излучения (магнетронам) средней мощности до 125 кВт каждый: на нижнем уровне два источника навстречу друг другу, на верхнем один источник и согласованная нагрузка 7 (рис. 1). Поглощаемая в плазме мощность $W_{пл}$ определялась калориметрическим способом