

# Перестраиваемый вращением монолитный двухлучевой интерферометр с неподвижным фотоприемником

В.Д. Угожаев

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

\*E-mail: [vdu@iae.nsk.su](mailto:vdu@iae.nsk.su)

DOI:10.31868/RFL2018.128-129

Двухлучевые интерферометры со сходящимися пучками находят широкое применение в оптике и фотонике, например, в интерференционной фотолитографии для создания периодических структур с масштабом вплоть до  $\sim 10$  нм [1] и для исследования голографических материалов. Традиционная конфигурация [2], включающая светоделитель и два юстируемых зеркала, сложна в эксплуатации и позволяет только дискретно изменять период интерференционной картины (ИК). Концепция вращательной перестройки периода, предложенная в [3–5] и дополненная идеей стабилизации положения ИК относительно светоделителя [6, 7], полностью снимает указанные недостатки. В [3] рассмотрен монолитный двухлучевой интерферометр (МДИ) с вращательной перестройкой, который включает в себя только светоделительный кубик (СДК); он очень удобен в работе с углами схождения до  $60^\circ$  благодаря своей компактности. Однако описанная в [3] конфигурация предусматривает согласованное с вращательной перестройкой линейное перемещение фотоприемника. Настоящий доклад посвящен анализу МДИ с неподвижным относительно СДК фотоприемником (НФП).

На рис. 1 представлена оптическая схема записи голографической решетки с МДИ. На ней отображены источник излучения 1, СДК 2 с делительным зеркалом 3 и НФП 4. Коллимированный световой пучок (КСП) 5 диаметром  $D$  от источника 1 падает на грань  $C_1C_2$  под углом  $\theta$ , входит в СДК под углом преломления  $\psi$  и расщепляется делительным зеркалом на два парциальных пучка 6 и 7, выходящие из СДК под углом схождения  $2\alpha$  друг к другу, формируя ИК в области их перекрытия. Из рис. 1 ясно, что  $\alpha = \theta - 45^\circ$ , откуда следует условие схождения  $\theta > 45^\circ$ . Оси парциальных пучков пересекаются в точке  $O$  на расстоянии  $L$  от ребра  $C_3$ , смещенной от НФП на малое расстояние  $\delta L = L - L_{ph}$  (далее длина схождения). Если МДИ вращается вокруг оси  $Z$ , удаленной от ребра  $C_3$  на расстояние  $T$ , относительно своего базового положения, характеризующегося входными параметрами КСП  $\theta = \theta_0$  и  $Q = Q_0$ , то длина схождения будет изменяться согласно следующей формуле:

$$L = \frac{(T + M)(\sin \theta - \cos \theta - \sin \theta_0 + \cos \theta_0) + M(1 - \operatorname{tg} \psi) \cos \theta - \sqrt{2} Q_0 \cos \theta_0}{\sin \theta - \cos \theta} \quad (1)$$

Задача состоит в том, чтобы для заданного  $\theta_0$  найти такие значения расстояний  $Q_0$  и  $T$ , которые дали бы минимальные вариации длины схождения при движении КСП по входной грани СДК от нижнего  $\theta_1$  до верхнего  $\theta_2$  граничных значений угла падения. Нижняя граница обусловлена касанием КСП, вошедшего в

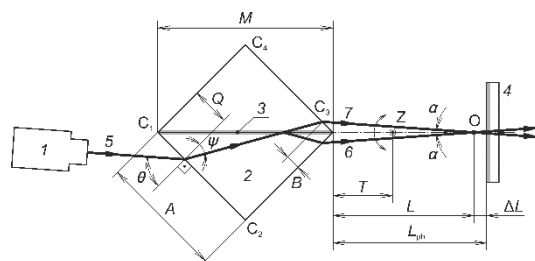


Рис. 1. Оптическая схема МДИ

СДК, края  $S_3$  делительного зеркала  $3$ , а верхняя — касанием края  $S_1$ . При наличии трех неизвестных:  $Q_0$ ,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  — составляются три уравнения. Одно из них основывается на условии касания КСП диаметром  $D_0$  краев делительного зеркала. Два других строятся по условию малости смещения  $\delta L$  на границах и в точке экстремума зависимости  $L(\theta)$ , которая совмещается с базовым положением. Соответствующие длины схождения  $L_i$  вычисляются по формуле (1) с подстановкой  $\theta = \theta_i$ , где  $i = 0, 1$  и  $2$ . Критерием малости является ограничение допуском  $\eta \ll 1$  наибольших по модулю значений относительного смещения, присущих указанным положениям:

$$2|\delta L_i|/S_i = \eta, \quad (2)$$

где  $S_i = D_0/\sin\alpha_i$  — продольная по ходу парциальных пучков длина ИК.

Решение данной системы уравнений для четырех значений диаметра КСП при показателе преломления  $n = 1,5183$  (стекло К8,  $\lambda = 546,07$  нм) материала СДК и  $\eta = 0,1$  отображено на рис. 2: показаны зависимости  $\alpha_1(\theta_0)$  (кривые 1, 4, 7 и 10),

$\alpha_2(\theta_0)$  (кривые 2, 5, 8 и 11) и ширины диапазона  $\Delta\alpha(\theta_0) = \alpha_2 - \alpha_1$  (кривые 3, 6, 9 и 12) при  $D_0/A = 0,065; 0,1; 0,15$  и  $0,2$  соответственно. Например, для  $D_0/A = 0,065$  (при  $A = 20$  мм диаметр  $D_0 = 1,3$  мм) и базового угла падения  $\theta_0 = 56^\circ$  ширина диапазона  $\Delta\alpha = 11,9^\circ$ ; угол  $\alpha$  изменяется в интервале  $6,24^\circ - 18,12^\circ$ , что означает отношение периодов ИК  $\Lambda_1/\Lambda_2 = 2,86$  — полторы октавы. Даже для КСП большого диаметра —  $D_0/A = 0,2$  ( $D_0 = 4$  мм) интервал перестройки угла  $\alpha = 3,54^\circ - 5,61^\circ$ ,  $\Delta\alpha = 2,08^\circ$  и  $\Lambda_1/\Lambda_2 = 1,56$ . На рис. 2 показана также зависимость  $\alpha_m(\theta_0)$  (кривая 13) для пучка диаметром  $D_0 = D_m$ , заполняющим всю длину  $M$  делительного зеркала, в этом случае  $\alpha_1 = \alpha_2$ . Эти перестроечные характеристики сильно зависят от показателя преломления. Так, если  $n = 2,2$ , то для КСП диаметром  $D_0 = 1$  мм с  $\theta_0 = 60^\circ$  ширина диапазона  $\Delta\alpha = 23,75^\circ$ , граничные значения  $\alpha_1 = 6,63^\circ$  и  $\alpha_2 = 30,38^\circ$ , соответствующее отношение периодов ИК 4,38 — более двух октав; в итоге имеет место двукратное превышение предыдущего примера по  $\Delta\alpha$ .

Приведенные расчетные данные указывают на весьма малую кривизну зависимости  $L(\theta)$  и соответственно на высокую эффективность концепции вращательной перестройки в МДИ с НФП. Такой интерферометр очень компактен: его габариты ограничиваются размерами СДК совместно с фотоприемником, кроме того, он практически не подвержен вибрациям.

## Литература

- [1] С. Lu, R.H Lipson, *Laser Photonics Rev.* **4**, 568–580 (2010)
- [2] В.В. Шелковников, Е.В. Васильев и др., *Оптика и спектроскопия* **99**, 806–815 (2005)
- [3] С.Л. Микерин, В.Д. Угожаев, *Оптика и спектроскопия* **111**, 1019–1025 (2011)
- [4] С.Л. Микерин, В.Д. Угожаев, *Автометрия* **48**, № 4, 20–32 (2012)
- [5] S.L. Mikerin, V.D Ugozhaev. In: *Interferometers: Fundamentals, Methods and Applications*, Nova Science Publishers, 2015, 277 p. Ch. 7-9. P. 173–210.
- [6] В.Д. Угожаев, *Автометрия* **52**, № 2, 57–65 (2012)
- [7] В.Д. Угожаев. Двухлучевой интерферометр. Патент РФ на изобретение № 2626062, *Изобретения. Полезные модели* № 21 (2017)

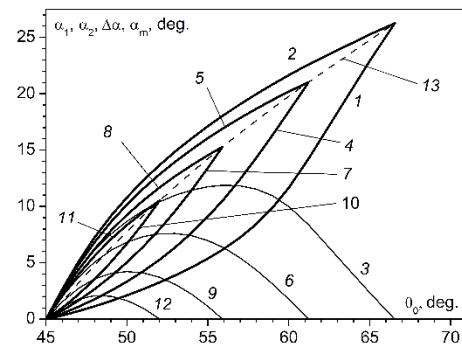


Рис. 2. Граничные значения угла  $\alpha$  и ширина диапазона  $\Delta\alpha$  его перестройки в зависимости от базового угла падения  $\theta_0$ .