

Перестраиваемый вращением монолитный двухлучевой интерферометр с неподвижным фотоприемником

В.Д. Угожаев

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

*E-mail: 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 ~ 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° 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 θ , входит в СДК под углом преломления ψ и расщепляется делительным зеркалом на два парциальных пучка 6 и 7, выходящие из СДК под углом схождения 2α 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:

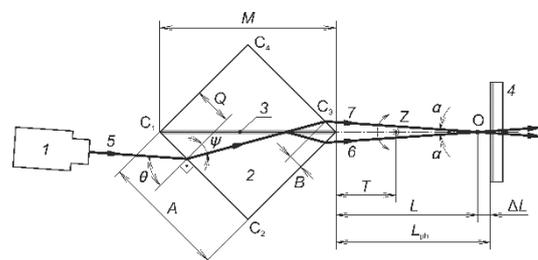


Рис. 1. Оптическая схема МДИ

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

Задача состоит в том, чтобы для заданного θ_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 θ_1 до верхнего θ_2 граничных значений угла падения. Нижняя граница обусловлена касанием КСП, вошедшего в

СДК, края S_3 делительного зеркала 3 , а верхняя — касанием края S_1 . При наличии трех неизвестных: Q_0 , θ_1 и θ_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 δL 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 α 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)

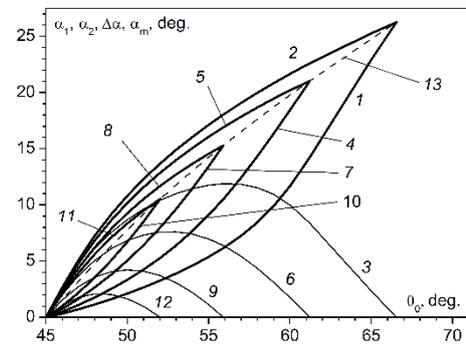


Рис. 2. Граничные значения угла α и ширина диапазона $\Delta\alpha$ его перестройки в зависимости от базового угла падения θ_0 .