



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 811070

(61) Дополнительное к авт. свид-ву 720293

(22) Заявлено 09.11.78 (21) 2685837/18-25

с присоединением заявки № —

(51) М. Кл.³
G 01B 9/02

(23) Приоритет —

(43) Опубликовано 07.03.81. Бюллетень № 9

(53) УДК 535.8(088.8)

(45) Дата опубликования описания 07.03.81

(72) Автор
изобретения

Г. К. Кладов

(71) Заявитель

Физико-технический институт низких температур
АН Украинской ССР

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА МЕЖДУ ИНТЕРФЕРИРУЮЩИМИ ФРОНТАМИ

Областная библиотека
им. В. И. Ленина
г. Псков
ул. Профсоюзная д. 2

1

Изобретение относится к оптико-интерференционным средствам измерения и может быть использовано для определения угла между интерферирующими фронтами при автоматической юстировке двухлучевых интерференционных устройств.

Известны способы [1] измерения угла между интерферирующими фронтами, основанные на измерении разности хода лучей в двухлучевом интерферометре и счете числа полос в поле интерференции неподвижного источника; он допускает автоматизацию процесса измерения.

Наиболее близок к предлагаемому способ [2], описанный в основном авт. св. № 720293, основанный на том, что в двухлучевой интерферометр дополнительно вводят подвижный луч, формируют поле его интерференции и осуществляют в нем счет числа полос при смещении луча между двумя парами точек на взаимно перпендикулярных прямых, а величину угла определяют по разности числа полос, полученной при их счете в полях интерференции подвижного и неподвижного лучей.

К недостаткам способа можно отнести недостаточную точность автоматической юстировки интерферометра, особенно при малых углах между фронтами.

Целью изобретения является повышение

2

точности автоматической юстировки интерферометра.

Эта цель достигается благодаря тому, что интенсивность в неподвижном луче удерживают на уровне полусуммы максимальной и минимальной интенсивностей путем изменения положения подвижного зеркала и определяют величину угла по изменению интенсивности подвижного луча при смещении его между точками каждой из пар точек, подвижный луч перемещают по окружности, в центре которой располагают неподвижный луч, а величину угла определяют, выделяя синусную и косинусную составляющие первой гармоники интенсивности подвижного луча.

На чертеже представлена схема интерференционного устройства.

Устройство содержит светодетель 1, неподвижное зеркало 2, подвижное зеркало 3, неподвижный луч 4, подвижный луч 5, зеркало 6 с отверстием в центре, линзу 7, фотоприемники 8 и 9, блок управления 10, синхронный детектор 11, блок 12 отметок положения подвижного луча. На чертеже отмечены две пары положений подвижного луча — 13 и 14, 15 и 16.

Устройство работает следующим образом. Интерференционную картину от неподвижного луча 4 проектируют на фото-

приемник 9, а от подвижного луча 5 с помощью зеркала 6 и линзы 7 — на фотоприемник 8.

При измерении угла между интерферирующими фронтами выбирают две пары положений подвижного луча 13 и 14, 15 и 16, лежащих на двух взаимно перпендикулярных прямых, например, на окружности диаметром D через 90° . С помощью фотоприемника 9, блока управления 10 удерживают интенсивность неподвижного луча 4 на уровне, равном полусумме максимальной и минимальной интенсивностей, меняя положение подвижного зеркала 3, перемещают подвижный луч 5 из точки 13 в точку 14 и измеряют его интенсивность с помощью фотоприемника 8; затем перемещают луч 5 из точки 15 в точку 16 и измеряют его интенсивность.

Зависимость интенсивности подвижного луча от положения однозначно характеризует угол между интерферирующими фронтами при условии, что угол мал. Введем систему координат на выходе интерферометра так, чтобы ось была направлена вдоль оси неподвижного луча 4. Пусть $(0,01)$ — единичная нормаль к фронту первого луча интерферометра, (a, b, c) — второго, $z=0$ — уравнение фронта первого луча,

$$ax + by + cz + d = 0$$

— уравнение фронта второго луча; тогда разность фаз φ по сечению пучка интерферометра имеет вид

$$\varphi(x, y, z) = \frac{2\pi}{\lambda} [ax + by + (c-1)z + d],$$

где d — оптическая разность хода в плечах интерферометра.

Так как угол $\alpha \approx \sqrt{a^2 + b^2}$ между интерферирующими фронтами мал и отличие « c » от единицы есть величина второго порядка малости, то слагаемым, содержащим z , можно пренебречь, т. е.

$$\varphi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} (ax + by + d).$$

Интенсивность неподвижного луча 4

$$I_4 = A_4^2 [1 + \cos \varphi(00)] = A_4^2 \left(1 + \cos \frac{2\pi d}{\lambda}\right),$$

где A_4 — амплитуда.

Интенсивность подвижного луча 5 в точке (x, y)

$$I_5 = A_5^2 \left[1 + \cos \frac{2\pi}{\lambda} (ax + by + d)\right],$$

где A_5 — амплитуда.

С помощью блока управления, изменяя положение подвижного зеркала 3, удерживают интенсивность I_4 , равной A_4^2 , т. е. удерживают оптическую разность хода d такой, что $\cos \frac{2\pi d}{\lambda} = 0$. При этом производ-

ная $\frac{\partial}{\partial d} \left(\cos \frac{2\pi d}{\lambda}\right)$ будет только одного знака, например, $\frac{\partial}{\partial d} \left(\cos \frac{2\pi d}{\lambda}\right) < 0$. При этих

условиях $d = K\lambda + \lambda/4$ и $I_5 = A_5^2 \left[1 + \frac{2\pi}{\lambda} (ax + by)\right]$. Если угол α между фронтами достаточно мал, так что $2\pi\lambda D \ll 1$, то $I_5 = A_5^2 \left[1 + \frac{2\pi}{\lambda} (ax + by)\right]$ и коэффициенты « a » и « b » можно найти следующим образом:

$$a = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{I_5(14) - I_5(13)}{A_5^2 D}$$

$$b = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{I_5(15) - I_5(16)}{A_5^2 D},$$

где $I_5(13)$, $I_5(14)$, $I_5(15)$, $I_5(16)$ — суть значения интенсивности подвижного луча 5 в положениях 13—16 соответственно. Такой способ определения угла реализуется в узких пределах, но с помощью синхронного детектора 11 можно расширить его возможности.

Пусть подвижный луч 5 описывает окружность диаметром D . Тогда

$$x = \frac{D}{2} \cos \omega t \quad y = \frac{D}{2} \sin \omega t$$

$$I_5 = A_5^2 \left[1 + \sin \frac{D\pi}{\lambda} (a \cos \omega t + b \sin \omega t)\right]$$

введем параметры

$$\alpha = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\tau = \arcsin \frac{a}{\alpha} = \arccos \frac{b}{\alpha}.$$

Тогда

$$I_5 = A_5^2 \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k-1} \left(\frac{\pi \alpha D}{\lambda}\right) \sin((2k-1) \times (\omega t + \tau))\right),$$

где J_m — функция Бесселя первого рода порядка m .

С помощью синхронного детектора определяют амплитуду и фазу первой гармоники. Амплитуда v_1 равна $2A_5 J_1 \left(\frac{\pi \alpha D}{\lambda}\right)$, а

фаза равна τ . Функция J_1 ведет себя вблизи нуля следующим образом: в интервале $[-3,83; +3,83]$ ее знак совпадает со знаком аргумента; в интервале $[-1,84; 1,84]$ она монотонно зависит от аргумента; в интервале $[-1; 1]$ с точностью 10% ее можно заменить линейным приближением $J_1(x) = x/2$.

Амплитуду и фазу первой гармоники можно использовать в системе обработки нулевого угла между фронтами при угле $\alpha \leq \frac{3,83\lambda}{\pi D}$ и при $\alpha \leq \frac{1,84\lambda}{\pi D}$. Угол α можно

однозначно определить по амплитуде первой гармоники v_1 из зависимости $v_1 = 2A_5^2 J_1\left(\frac{\pi\alpha D}{\lambda}\right)$, причем при $\alpha \leq \frac{\lambda}{\pi D}$ зависимость можно линеаризовать:

$$v_1 = A_5^2 \frac{\pi\alpha D}{\lambda}.$$

Направляющие косинусы a и b определяются из соотношений:

$$a = \alpha \sin \tau, \quad b = \alpha \cos \tau.$$

Отсюда следует, что в системе автоматической юстировки при $\alpha < \frac{3,83\lambda}{\pi D}$ могут быть

использованы вместо a и b сигналы $v_a = v_1 \sin \tau$ и $v_b = v_1 \cos \tau$. Знаки v_a и v_b совпадают со знаками a и b , в замкнутой системе авторегулирования устойчивость точки $v_a = v_b = 0$ будет обеспечена только при определенном знаке производных $\frac{\partial v_a}{\partial a}$ и $\frac{\partial v_b}{\partial b}$.

Чувствительность способа оценивается при $D = 30$ мм; $\lambda = 0,63$ мкм, модуляция интенсивности из-за неоднородности оптического тракта $\sim 2\%$

$$\Delta\alpha = 0,02 \frac{1,84\lambda}{\pi D} \cong 0'',05.$$

Формула изобретения

1. Способ измерения угла между интерферирующими фронтами по авт. св. № 720293, отличающийся тем, что, с целью повышения точности автоматической юстировки интерферометра, интенсивность в неподвижном луче удерживают на уровне полусуммы максимальной и минимальной интенсивностей, а величину угла определяют по изменению интенсивности подвижного луча при смещении его между точками каждой из пар точек.

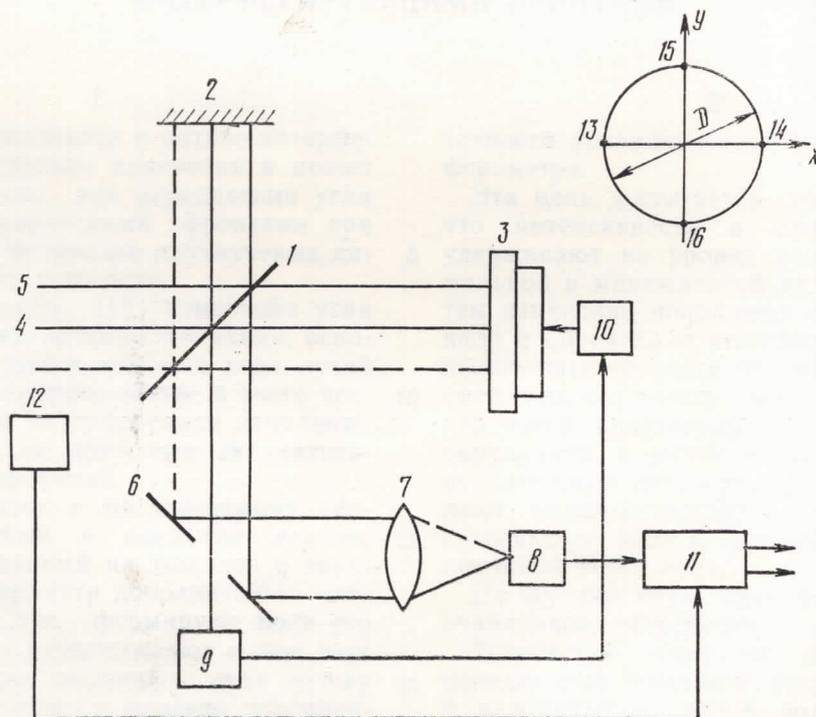
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что, с целью измерения малых углов, подвижный луч перемещают по окружности, в центре которой располагают неподвижный луч, величину угла определяют, выделяя синусную и косинусную составляющие первой гармоники интенсивности подвижного луча.

Источники информации,

принятые во внимание при экспертизе

1. Патент Франции № 2098666, кл. G 01B 11/02, опублик. 14.06.72.

2. Авторское свидетельство СССР № 720293, кл. G 01B 9/02, 11.07.77 (прототип).



Составитель А. Смирнов

Редактор Б. Федотов

Техред И. Заболотнова

Корректоры: В. Нам
и А. Галахова

Заказ 357/8

Изд. № 189

Тираж 661

Подписное

НПО «Поиск» Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Типография, пр. Сапунова, 2