



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G03H 1/0443 (2019.02); G02B 21/365 (2019.02)

(21) (22) Заявка: 2018147199, 28.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.12.2018

Дата регистрации:
16.04.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 28.12.2018

(45) Опубликовано: 16.04.2019 Бюл. № 11

Адрес для переписки:
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для
Одинокова С.Б., НИИРЛ, каф. РЛ-2

(72) Автор(ы):

Гончаров Андрей Игоревич (RU),
Ковалев Михаил Сергеевич (RU),
Одинокоев Сергей Борисович (RU),
Щепуро Никита Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: А.ПОЛЕЩУК статья
"ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ
АСФЕРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ" в журнале
"ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ", номер
2, 2011 год. RU 166802 U1, 10.12.2016. RU
158982 U1, 20.01.2016. RU 162199 U1,
27.05.2016. RU 184830 U1, 12.11.2018. JP
2004264839 A, 24.09.2004.

(54) Оптическая схема прецизионного интерференционного угломера

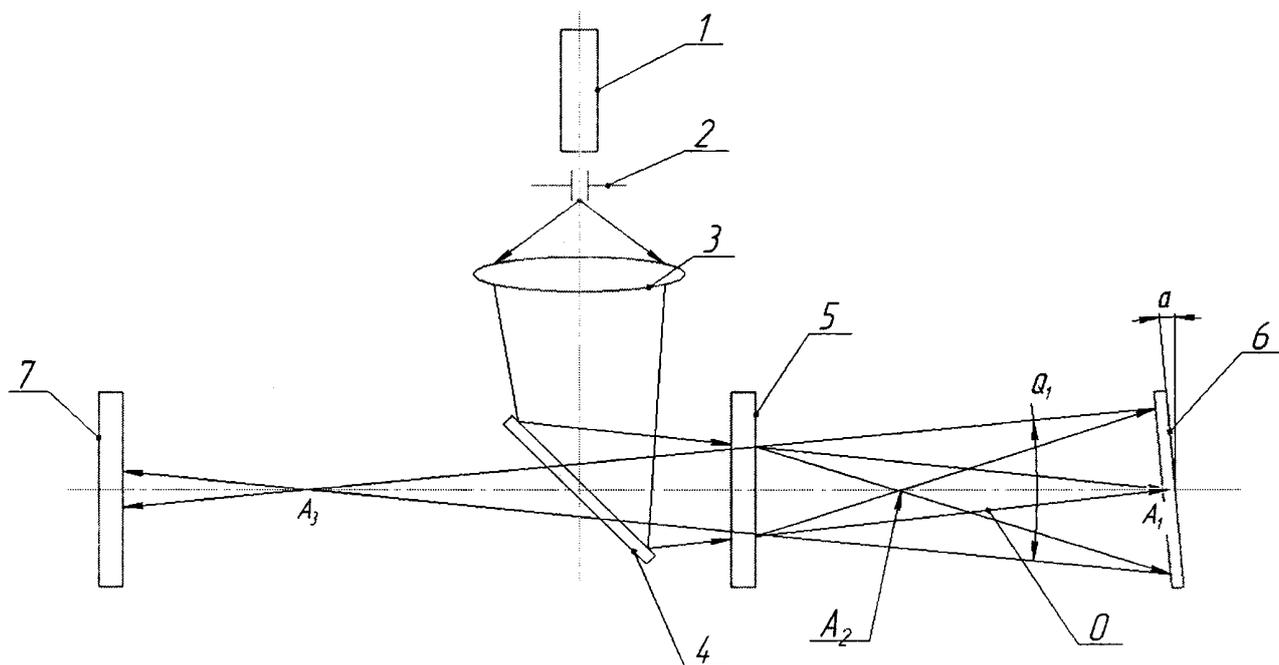
(57) Реферат:

Полезная модель относится к измерительной технике и может применяться для точного бесконтактного контроля изменений угловых положений зеркал в лабораторных и производственных условиях оптического приборостроения. Оптическая схема прецизионного интерференционного угломера, состоящая из осветителя в составе когерентного источника света, микродиафрагмы и объектива, формирующего сходящийся пучок световых лучей; диэлектрического зеркала в качестве светоделителя; приемника излучения для регистрации интерферограмм; пространственного модулятора света (ПМС), на который выведены компьютерно-синтезированные голограммы (КСГ) с возможностью не только разделять волновой фронт, но и корригировать аберрации

источника волнового фронта. Оптическая ось осветителя перпендикулярна оптической оси, на которой последовательно расположены указанные приемник излучения, диэлектрическое зеркало (светоделитель), ПМС и неподвижный центр угловых перемещений на отражающей поверхности исследуемого оптического элемента с возможностью отражения падающих световых пучков угломера. Светоделитель расположен на стыке пересечения указанных оптических осей под углом 45 градусов между ними. Пространственная комбинация КСГ, выводимых на ПМС, выполнена в виде периодически чередующихся колец, период чередования которых меньше чем $T = 2\lambda/D$, где λ - длина волны когерентного источника света, L -

расстояние между микродиафрагмой и ПМС, D - диаметр микродиафрагмы; ПМС и отражающая поверхность исследуемого оптического элемента наклонены к оптической оси на угол α больший чем $\alpha = D/2L$. Технический результат -

измерение величин угловых перемещений контролируемого оптического объекта (зеркала) предлагаемой оптической схемой с малой погрешностью порядка 10 мкрад ($\pm 0,3$ угл. сек.). 1 ил.



Фиг.1

RU 188489 U1

RU 188489 U1

Область техники

Полезная модель относится к измерительной технике и может применяться для точного бесконтактного контроля изменений угловых положений зеркал в лабораторных и производственных условиях оптического приборостроения.

5 Уровень техники

К настоящему времени в различных областях науки и техники используется значительное количество различных типов измерительных устройств, базирующихся на применении явления интерференции. Выбор конкретного типа интерферометра во многом зависит от требований, предъявляемых к нему при решении той или иной технической задачи. Исходя из задач, основные общие требования к разрабатываемому типу интерференционного угломерного прибора, следующие.

1. Устройство угломерного прибора должно позволять измерять угловые величины с погрешностью порядка десятой доли угловой секунды, а его чувствительность должна оцениваться сотыми долями угловой секунды.

15 2. Принцип построения устройства должен базироваться на использовании объективных методов отсчета и позволять оперативно обрабатывать получаемую информацию.

3. Для решения задач, связанных с измерением угловых величин в динамике, основные составные узлы угломерного устройства должны быть быстродействующими.

20 4. Диапазон измеряемых углов в предельном случае должен достигать 360° .

5. Разрабатываемый угломерный прибор должен сохранять работоспособность в различных климатических условиях, аналогичных условиям работы полевых геодезических приборов; к нему предъявляются требования минимизации габаритов, веса и потребляемой мощности.

25 Из анализа требований, предъявляемых непосредственно к интерферометру, следует, что данный прибор при небольших габаритах должен, прежде всего, обеспечивать высокую чувствительность к измеряемой угловой величине, высокую стабильность всех своих основных технических характеристик, а также высокую помехоустойчивость к различного рода мешающим оптическим излучениям.

30 Известны следующие технические решения по тематике объекта полезной модели.

По патентной заявке США US 2012140242 (A1) CIRCULAR COMMON-PATH POINT DIFFRACTION INTERFERENCE WAVEFRONT SENSOR (опубликовано 2012-06-07) с использованием дифракционного интерферометра очень много компонентов, которые вносят искажения в проходящий (измеряемый) волновой фронт. В этом минус по сравнению с обычными интерферометрами, так как Фурье-линзы требуют сложного изготовления и обладают свойствами дифракционно-ограниченной системы.

35 В патентной PCT-заявке WO 9617221 (A1) PHASE SHIFTING DIFFRACTION INTERFEROMETER (опубликовано 1996-06-06) также очень сложная схема с дифракционным интерферометром, которая включает в себя требования по поляризации источника излучения, а соответственно и требования к входящим компонентам.

40 Наиболее близким по схеме аналогом можно признать оптическую схему дифракционного интерферометра по патенту РФ RU 2240503 (опубликовано 20.11.2004). В данном патенте представленный дифракционный интерферометр для контроля формы вогнутых поверхностей и зеркал второго порядка содержит последовательно расположенные на главной оптической оси контролируруемую вогнутую поверхность, фазовую пластинку, зонную пластинку, центр которой совпадает с центром кривизны контролируемой поверхности, светоделитель, выполненный в виде поляризационного кубика, выходную диафрагму, проекционный объектив, регистрирующее устройство.

Также содержит осветитель, оптическая ось которого перпендикулярна главной оптической оси, и состоящий из источника света и объектива, формирующего сходящийся пучок лучей. Оси фазовой пластинки ориентированы под углом 45° к вектору поляризации светоделительного кубика.

5 Недостатками прототипной схемы дифракционного интерферометра являются.

1. Сложность изготовления зонной пластинки - дифракционного оптического элемента (ДОЭ), формирующего опорный и измерительный волновые фронты.

2. Невозможностью учета собственных аберраций осветителя.

3. Наличие рассеяния на микроструктурах ДОЭ.

10 Раскрытие полезной модели

Предлагаемая оптическая схема в значительной степени лишена недостатков прототипа и технически реализует возможность построения интерферометра без применения высококачественных и дорогих объективов и разделительных пластин большого диаметра с отсутствием зависимости контраста и яркости интерференционной
15 картины от монохроматичности и протяженности источника и с существенным уменьшением влияния температурных изменений и вибраций на работу интерферометра, так как используется только одна ветка световых пучков. В совокупности все эти улучшения позволяют достичь технического результата измерений величин угловых перемещений контролируемого оптического объекта (зеркала) предлагаемой оптической
20 схемой с малой погрешностью порядка 10 мкрад ($\pm 0,3 \text{ угл. сек.}$).

Технический результат достигается тем, что для контроля угловых перемещений исследуемого отражающего оптического элемента (контролируемого зеркала с
возможностью угловых перемещений относительно известной единой неподвижной
центральной точки отражающей поверхности зеркала) и который имеет возможность
25 поворачиваться на любой угол, включая 360° , разработана оптическая схема прецизионного интерференционного угломера, состоящая из осветителя в составе когерентного источника света (лазера), микродиафрагмы и объектива, формирующего сходящийся пучок световых лучей; диэлектрического зеркала в качестве светоделителя; приемника излучения для регистрации интерферограмм; пространственного модулятора
30 света (ПМС), на который выведены компьютерно-синтезированные голограммы (КСГ) с возможностью не только разделять волновой фронт, но и корректировать аберрации источника волнового фронта. Оптическая ось осветителя перпендикулярна оптической оси, на которой последовательно расположены указанные приемник излучения, диэлектрическое зеркало (светоделитель), ПМС и неподвижный центр угловых
35 перемещений на отражающей поверхности исследуемого оптического элемента с возможностью отражения падающих световых пучков угломера (прим.: сам исследуемый элемент, как объект контроля, не входит в состав интерференционного угломера, но расположен строго вышеуказанным образом относительно указанных деталей угломера). Светоделитель расположен на стыке пересечения указанных оптических
40 осей под углом 45 градусов между ними. Пространственная комбинация КСГ, выводимых на ПМС, выполнена в виде периодически чередующихся колец, период чередования которых меньше чем $T = 2\lambda L/D$, где λ - длина волны когерентного источника света, L - расстояние между микродиафрагмой и ПМС, D - диаметр микродиафрагмы; ПМС и отражающая поверхность исследуемого оптического элемента
45 наклонены к оптической оси на угол α больший чем $\alpha = D/2L$.

Для защиты от внешних возмущений оптическая схема расположена в едином светозащитном корпусе устройства.

На фиг. 1 - представлена предлагаемая оптическая схема прецизионного интерференционного угломера.

Осуществление полезной модели

На фиг. 1 обозначены позициями следующие элементы оптической схемы: 1 - когерентный источник света (лазер); 2 - точечная диафрагма (микродиафрагма); 3 - объектив; 4 - диэлектрическое зеркало (в качестве светоделителя); 5 - ПМС с КСГ; 6 - контролируемое зеркало с возможностью угловых перемещений вокруг известной единой неподвижной центральной точки отражающей поверхности зеркала; 7 - приемник излучения (фотоматрица) для регистрации интерферограмм.

Предлагаемая схема базируется на принципе интерферометра с общим ходом световых пучков. В интерферометр поступает сходящийся пучок лучей от источника 1 через диафрагму 2, объектив 3 и диэлектрическое зеркало 4. Часть пучка, проходящая через ПМС 5 без отклонения (0-й порядок дифракции), фокусируется в известной единой неподвижной центральной точке A_1 вращения зеркала 6. Этот пучок не искажается абберациями зеркала 6 и функционирует как опорный пучок. Другая часть пучка, дифрагирующая в +1-й порядок, фокусируется в точке A_2 и действует в качестве измерительного пучка, заполняя после прохождения точки A_2 расходящимся оптическим пучком апертуру зеркала 6. После отражения от зеркала 6 оптические пучки собираются в точке A_3 , при этом опорный пучок дифрагирует в +1-й порядок $[0; +1]$, а измерительный проходит без отклонения $[+1; 0]$. После светоделителя (диэлектрического зеркала) 4 опорный $[0; +1]$ и измерительный $[+1; 0]$ пучки когерентно складываются, образуя в плоскости приемника излучения (фотоматрицы) 7 интерференционные полосы, которые несут полную информацию об угловом положении зеркала, поскольку опорный пучок не искажается погрешностями контролируемой поверхности зеркала 6.

Для разрабатываемого устройства было необходимо достижение требуемой абсолютной точности определения угла ± 10 мкрад ($\pm 0,3$ угл. сек.) в предлагаемой оптической схеме датчика контроля угловых перемещений зеркала. На ПМС выводятся КСГ, которые не просто разделяют волновой фронт, но и еще и корригируют абберации источника волнового фронта. Причем пространственная комбинация КСГ, выводимых на ПМС, выполнена в виде периодически чередующихся колец, при этом период чередования колец меньше чем $T = 2\lambda L/D$, где λ - длина волны источника излучения, L - расстояние между диафрагмой и ПМС, D - диаметр микродиафрагмы. Кроме того, ПМС и исследуемая отражающая поверхность наклонены к оптической оси на угол α больший чем $\alpha = D/2L$ - в этом случае зеркальные блики от контролируемой отражающей поверхности блокируются и не проходят к регистрирующему устройству угломера, тем самым не искажая регистрируемые интерферограммы.

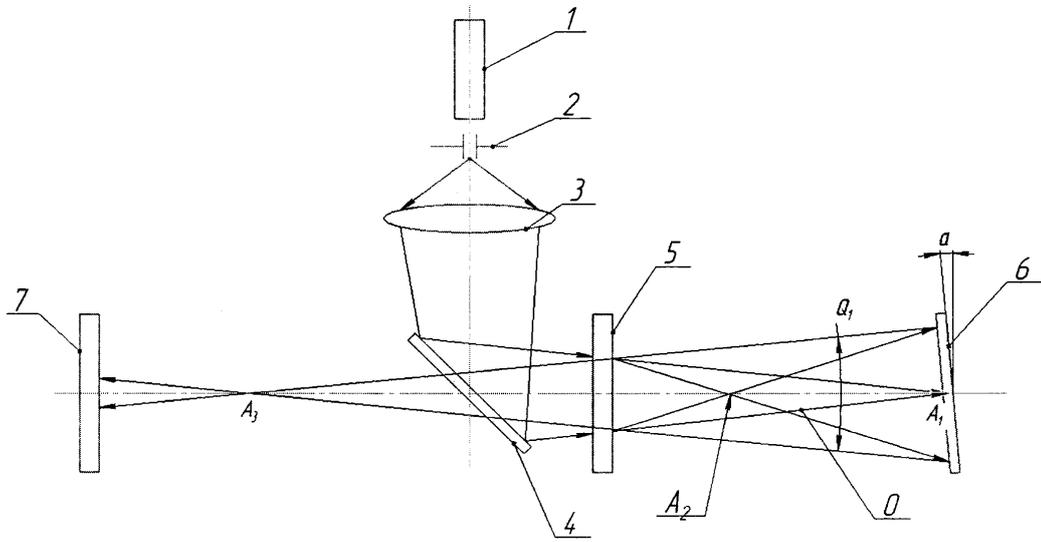
Для расчета углового значения ширины интерференционной полосы при максимальном значении светового потока с целью его регистрации приемником излучения 7 интерференционные полосы максимального контраста наблюдаются при выполнении условия: $\cos(2\pi \cdot k \cdot z) = 1$, где $z = \frac{1}{\cos Q_1} + 2 \cdot \sin Q_1$, где Q_1 - угол дифракции для максимума первого порядка светового пучка, прошедшего через ПМС и отраженного от поверхности контролируемого зеркала (угол Q_1 отмечен на фиг. 1), k - волновое число ($k = 2\pi/\lambda$). Анализ свидетельствует о том, что у Q_1 есть четко выраженный минимум, вблизи которого изменения ΔQ_1 в зависимости от угла падения светового пучка угломера

на отражающую поверхность зеркала минимальны (в пределах углов распространения пучков от 15° до 25° угловая ширина интерференционной полосы в фотоматрице 7 для регистрации интерферограмм изменяется всего на 10 мкрад (0,3 угл. сек.) (точность измерений угломера) или в относительной мере на 0,6% - при длине волны когерентного источника света $\lambda=632,8$ нм, $L=25$ см, $D=20$ мкм.

Разработка полезной модели проводилась в рамках проектной части государственного задания для МГТУ им. Н.Э. Баумана от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №3.2236.2017.

(57) Формула полезной модели

Оптическая схема прецизионного интерференционного угломера, состоящая из осветителя в составе когерентного источника света (лазера), микродиафрагмы и объектива, формирующего сходящийся пучок световых лучей; диэлектрического зеркала в качестве светоделителя; приемника излучения для регистрации интерферограмм; пространственного модулятора света (ПМС), на который выведены компьютерно-синтезированные голограммы (КСГ) с возможностью не только разделять волновой фронт, но и корригировать aberrации источника волнового фронта; оптическая ось осветителя перпендикулярна оптической оси, на которой последовательно расположены указанные приемник излучения, диэлектрическое зеркало, ПМС и неподвижный центр угловых перемещений на отражающей поверхности исследуемого оптического элемента с возможностью отражения падающих световых лучей угломера; светоделитель расположен на стыке пересечения указанных оптических осей под углом 45 градусов между ними; пространственная комбинация КСГ, выводимых на ПМС, выполнена в виде периодически чередующихся колец, период чередования которых меньше чем $T = 2\lambda L/D$, где λ - длина волны когерентного источника света, L - расстояние между микродиафрагмой и ПМС, D - диаметр микродиафрагмы; ПМС и отражающая поверхность исследуемого оптического элемента наклонены к оптической оси на угол α больший чем $\alpha = D/2L$.



Фиг.1