



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011136134/28, 30.08.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.08.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.08.2011

(45) Опубликовано: 20.05.2013 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: ГАВРИЛОВ Д.С., КАКШИН А.Г., ЛОБОДА Е.А. Способ измерения деформаций волнового фронта до  $M/8$ , вносимых афокальной системой большой апертуры. Оптический журнал, т.76, №3, 2009, с.18-24. Оптический производственный контроль./ Под ред. Д.МАЛАКАРЫ. - М.: Машиностроение, 1985, рис.7.11, с.177. SU 1469343 A1, 30.03.1989. SU 848999 A1, 23.07.1981. RU 2078307 C1, 27.04.1997.

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13, ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина", отдел интеллектуальной собственности, Г.В. Бакалову

(72) Автор(ы):

Гаврилов Дмитрий Сергеевич (RU),  
Лобода Евгений Анатольевич (RU),  
Какшин Алексей Генрихович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация "Росатом") (RU), Федеральное государственное унитарное предприятие "Российский федеральный ядерный центр-Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина" (RU)

**(54) ИНТЕРФЕРОМЕТР**

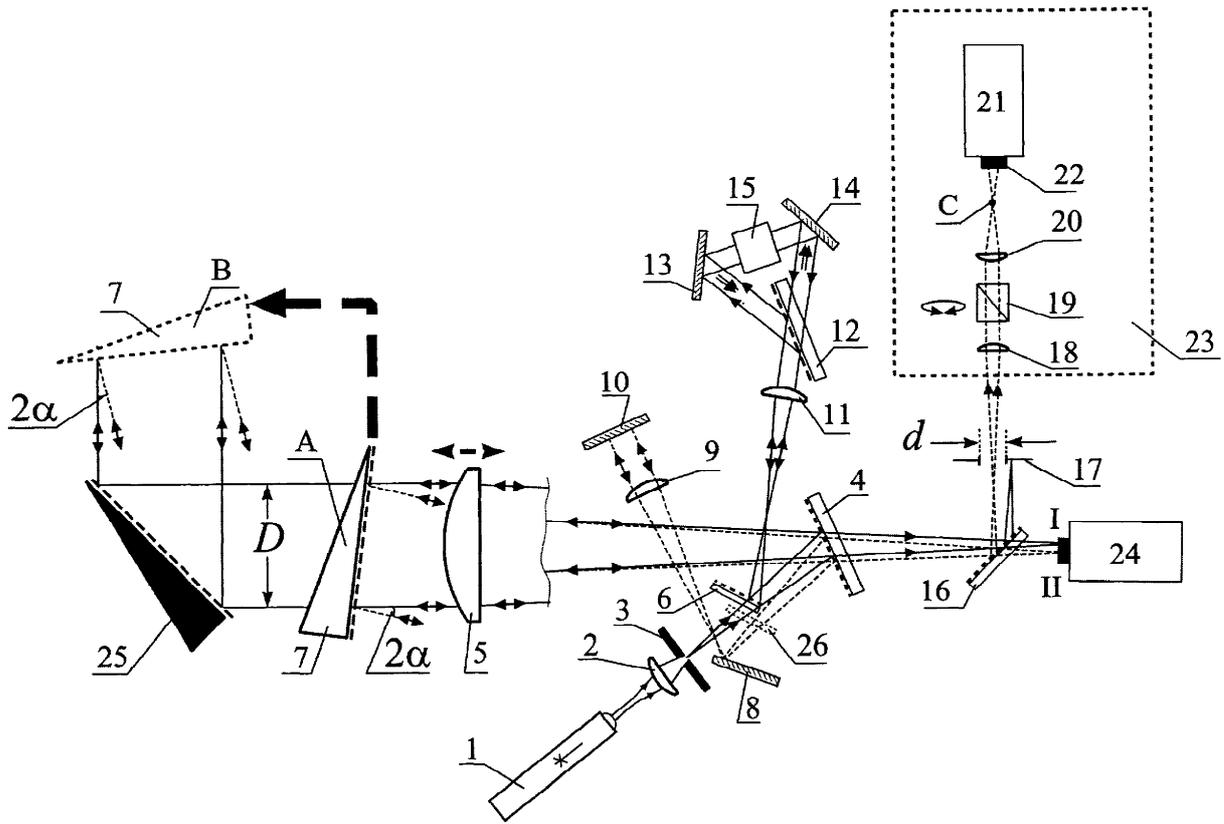
(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано для контроля качества афокальных систем, в том числе крупногабаритных, а именно: плоских зеркал, светоделителей, плоскопараллельных пластин, клиньев, телескопических систем с увеличением, близким к единичному. Интерферометр содержит формирователь коллимированного пучка со светоделителем, опорное зеркало, диафрагму-селектор, установленную в переднем фокусе объектива формирователя за светоделителем наблюдательную систему, ПЗС-камеру и исследуемую афокальную систему (ИАС), расположенную между объективом формирователя и опорным зеркалом. Введено

плоское зеркало, установленное под углом к оптической оси пучка, отраженного под малым углом от опорного зеркала, первый коллимирующий объектив, софокусный с объективом формирователя, второе плоское зеркало, второй коллимирующий объектив, установленный по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала, софокусно с объективом формирователя, снабженного вторым светоделителем, поляризатор-пластину и два дополнительных плоских зеркала, образующих замкнутый контур, в который введена полуволновая пластина. За светоделителем формирователя установлены дополнительный светоделитель и вторая ПЗС-камера, расположенная в фокальной плоскости

объектива формирователя. Наблюдательная система выполнена в виде коллимирующего и трансляционного объективов, между которыми расположен поляризационный куб. Коллимирующий объектив расположен

софокусно с объективом формирователя. Технический результат - обеспечение возможности измерения ПАС с абберациями любого типа. 7 ил.



Фиг.1

RU 2482447 C2

RU 2482447 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**G01B 9/02** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011136134/28, 30.08.2011

(24) Effective date for property rights:  
30.08.2011

Priority:

(22) Date of filing: 30.08.2011

(45) Date of publication: 20.05.2013 Bull. 14

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.  
Vasil'eva, 13, FGUP "RFJaTs-VNIITF im. akadem.  
E.I. Zababakhina", otdel intellektual'noj  
sobstvennosti, G.V. Bakalovu

(72) Inventor(s):

Gavrilov Dmitrij Sergeevich (RU),  
Loboda Evgenij Anatol'evich (RU),  
Kakshin Aleksej Genrikhovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj  
vystupaet Gosudarstvennaja korporatsija po  
atomnoj ehnergii "Rosatom" (Goskorporatsija  
"Rosatom") (RU),  
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe  
predpriatie "Rossijskij federal'nyj jadernyj  
tsentr-Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij  
institut tekhnicheskoy fiziki imeni akademika  
E.I. Zababakhina" (RU)

(54) **INTERFEROMETER**

(57) Abstract:

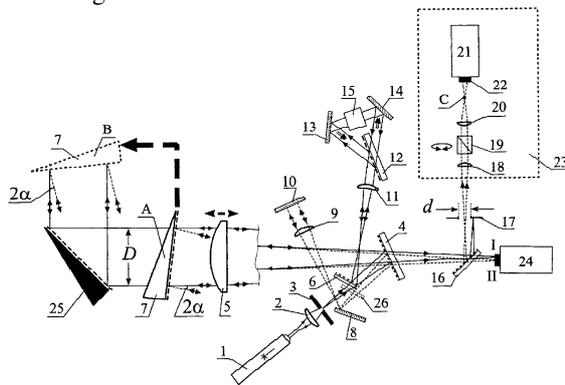
FIELD: physics.

SUBSTANCE: interferometer has a collimated beam former with a beam splitter, a reference mirror, a selector diaphragm, an observation system placed in the front focus of the lens of the former behind the beam splitter, a CCD camera and the investigated afocal system lying between the lens of the former and the reference mirror. There is a flat mirror placed at an angle to the optical axis of the beam which is reflected at a small angle from the reference mirror, a first collimating lens which is confocal with the lens of the former, a second flat mirror, a second collimating lens placed on the path of the beam reflected from the reference mirror, confocal with the lens of the former provided with a second beam splitter, a polariser plate and two additional flat mirrors which form a closed loop which includes a half-wave plate. Behind the beam splitter of the former, there is an additional beam splitter and a second CCD camera lying in the focal

plane of the lens of the former. The observation system is in form of a collimating and a translational lens with a polarisation cube in between. The collimating lens lies confocal to the lens of the former.

EFFECT: enabling measurement of an investigated afocal system with aberrations of any type.

7 dwg



Фиг. 1

RU 2 482 447 C2

RU 2 482 447 C2

Изобретение относится к оптическому приборостроению, в частности к интерферометрам, и может быть использовано для контроля оптического качества афокальных систем, в том числе крупногабаритных, а именно для контроля плоских зеркал, светоделителей, плоскопараллельных пластин, клиньев, а также телескопических систем с увеличением, близким к единичному.

Известен интерферометр, содержащий формирователь коллимированного пучка, опорное зеркало, установленное за формирователем по ходу пучка, диафрагму-селектор, установленную в переднем фокусе объектива формирователя по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала под малым углом, наблюдательную систему, установленную за диафрагмой-селектором, и исследуемую афокальную систему («Оптический производственный контроль», под ред. Д.Малакары. М.: Машиностроение, 1985 г., рис.7.11, с.177, Интерферометр Физо с многократным прохождением лучей).

В качестве опорного зеркала используется плоский эталон, диафрагма-селектор выполнена в виде экрана с двумя отверстиями для выбора пучка нулевого и подходящего высокого порядка, а наблюдательная система - в виде объектива и фотопленки.

Указанное устройство обладает высокой чувствительностью измерений, которая достигается с помощью многократного прохождения сканирующего пучка через исследуемую афокальную систему (ИАС).

Однако использование плоского эталонного зеркала ограничивает точность измерений.

Наиболее близким аналогом заявляемого изобретения, выбранным в качестве прототипа, является интерферометр, содержащий формирователь коллимированного пучка со светоделителем, опорное зеркало, установленное за формирователем по ходу пучка, диафрагму-селектор, установленную в переднем фокусе объектива формирователя за светоделителем по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала под малым углом, наблюдательную систему и ПЗС-камеру, установленные за диафрагмой-селектором, и исследуемую афокальную систему, расположенную между объективом формирователя и опорным зеркалом («Способ измерения деформаций волнового фронта до  $\lambda/8$ , вносимых афокальной системой большой апертуры», авторы: Д.С.Гаврилов, А.Г.Какшин, Е.А.Лобода, «Оптический журнал», том 76, №3, 2009 г., с.18-24).

Наблюдательная система выполнена в виде объектива.

Преимуществом данного интерферометра является то, что для его реализации не требуется плоское эталонное зеркало, в качестве опорного может применяться плоское зеркало с небольшой остаточной сферичностью. Интерферограмма формируется в результате взаимодействия сканирующего пучка, прошедшего четыре раза через ИАС, и того же пучка, взятого до прохождения через ИАС. Данная установка обладает достаточно высокой чувствительностью измерений.

Однако данный интерферометр позволяет измерять ИАС только с определенным коэффициентом пропускания (если ИАС является зеркалом - коэффициентом отражения), который должен быть не менее 0,7 для обеспечения приемлемого контраста интерферограммы и возможности проведения измерений.

Кроме того, интерферометр построен таким образом, что позволяет выполнять только четыре прохода пучка через ИАС, при этом наблюдаемая интерферограмма имеет вид колец (в предельном случае - одного кольца), что ограничивает чувствительность измерений: минимальный регистрируемый размах деформаций

волнового фронта, которые вносит ИАС, составляет  $\lambda/8$ .

Также при работе интерферометра сканирующий пучок переворачивается при втором проходе через интерферометр, что в свою очередь приводит к большой погрешности измерения ИАС с несимметричными аберрациями (например, кома, местные ошибки). Кроме того, схема интерферометра такова, что происходит увод оси пучка при каждом проходе через интерферометр. Это также приводит к погрешности измерения ИАС с несимметричными аберрациями, кроме того, делает невозможным измерение ИАС с малой апертурой.

Технический результат, получаемый при использовании предлагаемого технического решения, - обеспечение возможности измерения ИАС с аберрациями любого типа.

Задачи, на решение которых направлено изобретение, - расширение диапазона коэффициента отражения (пропускания) и расширение диапазона габаритов ИАС, подлежащих измерению, а также повышение чувствительности измерений.

Указанный технический результат достигается тем, что в интерферометре, содержащем формирователь коллимированного пучка со светоделителем, опорное зеркало, установленное за формирователем по ходу пучка, диафрагму-селектор, установленную в переднем фокусе объектива формирователя за светоделителем по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала под малым углом, наблюдательную систему и ПЗС-камеру, установленные за диафрагмой-селектором, и исследуемую афокальную систему, расположенную между объективом формирователя и опорным зеркалом, особенностью является то, что интерферометр дополнительно содержит плоское зеркало, установленное под углом к оптической оси пучка, отраженного под малым углом от опорного зеркала, первый коллимирующий объектив, установленный софокусно с объективом формирователя и второе плоское зеркало, установленное перпендикулярно оптической оси, второй коллимирующий объектив, установленный по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала в обратном направлении, софокусно с объективом формирователя, снабженного вторым светоделителем, установленным под малым углом к оптической оси пучка, поляризатор-пластину и два дополнительных плоских зеркала, образующие замкнутый контур, в который введена полуволновая пластина, за светоделителем формирователя установлены дополнительный светоделитель под углом к оптической оси и вторая ПЗС-камера, расположенная за дополнительным светоделителем в фокальной плоскости объектива формирователя, наблюдательная система выполнена в виде коллимирующего и трансляционного объективов, между которыми расположен поляризационный куб, при этом коллимирующий объектив расположен софокусно с объективом формирователя по ходу пучка, отраженного от дополнительного светоделителя.

Введением в формирователь второго светоделителя, установленного под малым углом к оптической оси пучка, а в интерферометр - двух коллимирующих объективов, установленных софокусно с объективом формирователя, и плоского зеркала, установленного под углом к оптической оси пучка, отраженного под малым углом от опорного зеркала, добились того, что пучок не переворачивается (сохраняет ориентацию при каждом проходе через ИАС) и отсутствует увод пучка. Введение в интерферометр поляризатора-пластины и двух дополнительных плоских зеркал, которые образуют замкнутый контур с введенной в него полуволновой пластиной, обеспечили то, что плоскость колебаний электрического вектора пучка, совершившего 4 прохода через ИАС, поворачивается на 90 градусов, а пучка, совершившего 8 проходов - возвращается в исходное положение.

Это дает возможность исключить пучок, совершивший 4 прохода через ИАС, из формирования интерферограммы путем установки поляризационного куба в наблюдательной системе, скрещенного с направлением колебаний этого пучка. В результате формируется интерферограмма пучка, совершившего 8 проходов через ИАС. Снабдив установку вторым плоским зеркалом, установленным перпендикулярно оптической оси за вторым коллимирующим объективом, получили возможность взаимно наклонять интерферирующие пучки и формировать интерферограмму в виде полос. С помощью вращения поляризационного куба получили возможность выравнивать мощность интерферирующих пучков и тем самым решили задачу расширения диапазона коэффициента отражения (пропускания) ИАС, расширили диапазон габаритов ИАС, подлежащих измерению, и повысили чувствительность измерений. Таким образом, обеспечили возможность измерения ИАС с абберациями любого типа.

При проведении анализа уровня техники, включающего поиск по патентным и научно-техническим источникам информации, и выявлении источников, содержащих сведения об аналогах заявленного изобретения, не обнаружено аналогов, характеризующихся признаками, тождественными всем существенным признакам данного изобретения. Определение из перечня выявленных аналогов прототипа как наиболее близкого по совокупности существенных признаков аналога, позволило выявить совокупность существенных отличительных признаков от прототипа, изложенных в формуле изобретения.

Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию «новизна».

Для проверки соответствия заявленного изобретения условию «изобретательский уровень» заявитель провел дополнительный поиск известных решений, чтобы выявить признаки, совпадающие с отличительными от прототипа признаками заявленного устройства. В результате поиска не выявлены технические решения с этими признаками. На этом основании можно сделать выводы о соответствии заявляемого изобретения условию «изобретательский уровень».

На фиг.1 изображен общий вид интерферометра.

На фиг.2 изображена схема измерения при различных исследуемых афокальных системах.

На фиг.3 представлено изображение сфокусированных пучков на этапе настройки с второй ПЗС-камеры.

На фиг.4 представлено изображение сфокусированных пучков с ПЗС-камеры при расположении датчика камеры в положении С.

На фиг.5 представлено изображение интерферограммы на этапе настройки.

На фиг.6 представлено изображение интерферограммы на этапе измерений.

На фиг.7 представлен принцип работы поляризационного куба при выравнивании мощности интерферирующих пучков.

Интерферометр содержит формирователь пучка, состоящий из непрерывного лазера 1, объектива (например, микрообъектива) 2 и диафрагмы 3. Формирователь снабжен светоделителем 4, установленным под углом  $i_4 < 20^\circ$  к оптической оси, и коллимирующим собирающим объективом 5 (например, плоскосферической линзой с относительным отверстием  $1/4K \dots 1/12K$ , где  $K$  - количество проходов пучка через ИАС). Интерферометр также содержит второй светоделитель 6, установленный под углом  $i_6 = 5 \dots 10^\circ$  к оптической оси. Передняя фокальная плоскость объектива 5 приблизительно совпадает с плоскостью диафрагмы 3, продольное положение объектива 5 регулируется. Диаметр отверстия диафрагмы 3 составляет  $d_3 \approx \lambda f_5 / D$ , где  $f_5$  -

фокусное расстояние объектива 5,  $D$  - требуемый диаметр пучка на его выходе (фиг.1).

Опорное зеркало 7 установлено за формирователем по ходу пучка вблизи объектива 5 под углом  $\alpha=(50\dots100)\lambda/D$  рад к оптической оси для отражения излучения обратно в апертуру объектива 5, плоское зеркало 8 расположено под углом к оптической оси пучка, отраженного под углом  $\alpha$  от опорного зеркала 7. Первый коллимирующий объектив 9 установлен софокусно с объективом 5 на расстоянии  $f_5+f_9$  от объектива 5, где  $f_5$  и  $f_9$  - фокусные расстояния объективов 5 и 9. Вблизи объектива 9 установлено второе плоское зеркало 10.

Интерферометр содержит второй коллимирующий объектив 11, установленный по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала 7 в обратном направлении, софокусно с объективом 5 на расстоянии приблизительно  $f_5+f_{11}$  от объектива 5, где  $f_5$  и  $f_{11}$  - фокусные расстояния объективов 5 и 11, с возможностью регулировки продольного положения объектива 11.

Интерферометр содержит поляризатор-пластину 12, установленный вблизи объектива 11 под углом максимального контраста к оптической оси, дополнительные плоские зеркала 13, 14 и полуволновую пластину 15, расположенные таким образом, что оптическая ось образует контур с замыканием в точке прохождения оптической оси через поверхность с покрытием поляризатора 12.

Дополнительный светоделитель 16 расположен под углом к оптической оси за светоделителем 4 по ходу пучка. Диффрагма-селектор 17 диаметром  $d=2\alpha f_5$  установлена на оптической оси в передней фокальной плоскости объектива 5 за светоделителем 4 по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала 7 под малым углом.

Коллимирующий объектив 18, поляризационный куб 19, трансляционный объектив 20, ПЗС (прибор с зарядовой связью) - камера 21 расположены на оптической оси. Коллимирующий объектив 18 расположен софокусно с объективом 5 по ходу пучка, отраженного от дополнительного светоделителя 16. При этом трансляционный объектив 20 переносит изображение поверхности зеркала 7 на плоскость датчика 22 ПЗС-камеры 21, на котором формируется интерферограмма. Элементы 18-22 образуют систему регистрации 23, при этом объективы 18, 20, между которыми расположен поляризационный куб 19, выполняют роль наблюдательной системы, установленной за диффрагмой-селектором 17.

Вторая ПЗС - камера 24, расположенная за дополнительным светоделителем 16 на оптической оси в фокальной плоскости объектива 5, предназначена для наблюдения пучков в плоскости их фокусировки и анализа их направлений. Объект исследования - исследуемая афокальная система (ИАС) 25 расположена по ходу пучка между опорным зеркалом 7 и объективом 5.

Поверхности линз и пластины 15 просветляют, а коэффициенты отражения зеркал 7, 8, 10, 13, 14 (для s- и p-поляризаций) и поляризатора 12 (для s-поляризации; для него также и пропускание для p-поляризации) должны быть близки к 100%. Коэффициенты отражения светоделителей 4 и 6 составляют 94...96% и 85...90% соответственно.

При настройке используется непокрытая пластина 26 (изображена пунктиром на фиг.1), при измерениях ИАС с невысоким коэффициентом отражения (пропускания) используется объектив 27 (фиг.2).

Плоскость колебаний электрического вектора лазерного излучения с линейной поляризацией перпендикулярна плоскости падения излучения на наклонные элементы 4, 5, 8, 12, 13, 14.

Лазер 1 и объективы 2, 6, 9, 11, 18, 20 расположены по нормали к оптической оси.

Интерферометр работает следующим образом. Непрерывный лазер 1 формирует световой пучок, который фокусируется объективом 2 на отверстие металлической точечной диафрагмы 3. Расходящийся пучок, сформированный вследствие дифракции на отверстии диафрагмы 3, проходит с ослаблением мощности сквозь светоделитель 6 и коллимируется объективом 5, установленным на оптическом расстоянии  $f_5$  от диафрагмы 3. Направление выхода пучка из объектива 5 есть направление I.

При настройке интерферометра пучок отражается от опорного зеркала 7, установленного в положение А вблизи объектива 5 под малым углом падения  $\alpha = (50 \dots 100)\lambda/D$  рад. Допускается остаточная сферичность поверхности опорного зеркала 7 (стрелка прогиба не более  $\lambda$ ), местные ошибки поверхностей опорного зеркала 7 и объектива 5 не более  $\lambda/50$  ( $\Delta N < 0,01$ ). Отраженный от опорного зеркала 7 пучок показан пунктиром (направление II). Он становится сходящимся после прохода через объектив 5 в обратном направлении, отражается от светоделителя 4, проходит через непокрытую пластину 26 (установленную временно вместо светоделителя 6) и фокусируется на поверхности диафрагмы 3. При визуальном наблюдении пятна на диафрагме 3 добиваются наиболее острой его фокусировки путем перемещения объектива 5. Настройка объектива 5 завершена, пластину 26 удаляют, устанавливают светоделитель 6 так, что расходящийся пучок из диафрагмы 3 проходит сквозь него вблизи его края.

Небольшая доля мощности (5%) сходящегося пучка (направление II) проходит за светоделитель 4, где установлен светоделитель 16 ( $R_{16} = 70 \dots 80\%$ ) с углом падения  $i_{16} = 20 \dots 30^\circ$ , а за ним ПЗС-камера 24 так, что пучок направления II фокусируется на плоскость датчика указанной камеры (на фиг. не показан). Плоское зеркало 8 направляет пучок к коллимирующему объективу 9, после прохода через который пучок отражается в обратном направлении плоским зеркалом 10, возвращается по пути 9-8-4-5 и выходит из объектива 5 (пунктир, направление II). После второго отражения от опорного зеркала 7 пучок направляется по пути исходного пучка (сплошные линии, направление I) обратно через линзу 5 и становится сходящимся. Продольное положение объектива 9 корректируется так, чтобы пучок после прохода через светоделитель 5 также фокусировался на датчике ПЗС-камеры 24. Это пятно фокусировки смещено относительно первого на расстояние  $d = 2\alpha f_5$  (фиг.3).

Сходящийся пучок, отраженный от светоделителя 4 в направлении отверстия диафрагмы 3, отражается от светоделителя 6 и коллимируется линзой 11. Пучок отражается от поляризатора 12, зеркала 13 и проходит через полуволновую пластину 15, после чего плоскость колебаний электрического вектора излучения поворачивается на  $90^\circ$ . После отражения от зеркала 14 пучок проходит практически без потерь мощности сквозь поляризатор 12 и направляется в линзу 11 в обратном направлении, вновь отражается от светоделителей 4 и 6, коллимируется линзой 5 и отражается от опорного зеркала 7 в направлении II, показанном пунктиром. Таким образом, пройдя через линзу 5 и светоделитель 4, данный «второй» пучок направления II фокусируется на датчике ПЗС-камеры 24 в той же точке, что и первый пучок направления II (фиг.3).

Поворотом одного из зеркал 13 или 14 выводят пятно из области засветки первого пучка X и добиваются наилучшей фокусировки пучка Y продольным перемещением линзы 11. После очередного отражения от светоделителя 4 пучок вновь проходит сначала по каналу направления II (элементы 8, 9, 10), затем по каналу направления I, где пучок проходит по элементам петли в обратном порядке 12-14-15-13, и плоскость

колебаний электрического вектора излучения становится исходной. Поочередный ход пучка по каналам направлений I, II бесконечен, однако мощность пучка уменьшается из-за потерь при отражениях и проходах через элементы. В итоге через позиции пятен фокусировки обоих направлений I, II проходит множество пучков с чередованием направления поляризации, которые можно наблюдать с помощью камеры 24 при

небольшом повороте одного из зеркал 10, 13 или 14 (фиг.4). При  $R_{O3} > 97\%$  коэффициент пропускания системы за 4 прохода (т.е. соотношение мощностей соседних пучков одного направления) должен быть не менее 30%.

Рассмотрим одно из направлений I или II. Каждый из пучков X, Y, Z относительно предыдущего совершил четыре дополнительных прохода через телескопические системы 6, 9 и 6, 11. При условии когерентности некоторых двух пучков с разностью числа проходов K результат их интерференции (интерферограмма в виде полос при малом повороте одного из зеркал 10, 13 или 14) регистрируется ПЗС-камерой 21

По интерферограмме (добиваясь прямолинейности полос перемещением объектива 11) настраивают на строгую афокальность составную телескопическую систему из K чередующихся телескопов 6, 9 и 6, 11.

Этап измерений. В систему вводят исследуемую афокальную систему 25 (ИАС), которая деформирует волновой фронт, и измеряют по интерферограмме (фиг.6) деформацию, приобретенную волновым фронтом за K проходов через ИАС, при этом опорное зеркало 7 переставляется в поз.В или поз.Е вблизи ИАС, в зависимости от типа ИАС (фиг.2). Отраженные от светоделителя 16 пучки направлений I и II фокусируются в плоскости диафрагмы-селектора 17 диаметром  $d=2\alpha f_5$ , за которую (через ее центр) проходят только пучки направления II, коллимируются линзой 18, проходят через поляризационный куб 19 и трансляционную линзу 20 к камере 21. Наблюдательной согласующей системой в данном случае являются линзы 5, 18, 20.

Для наблюдения интерференции пучков с разностью числа проходов  $K=8$  (пучки X, Z на второй ПЗС-камере 24), плоскости поляризации которых одинаковы, куб 19 устанавливают на полное пропускание исходного направления поляризации. Пучок Y с плоскостью поляризации, перпендикулярной исходному направлению, не проходит через куб 19. Это контролируют, временно установив камеру 21 таким образом, что датчик 22 находится в поз.С, где пучки фокусируются и разделяются, по его исчезновению при вращении куба 19 вокруг оптической оси. Приемлемый контраст интерферограммы обеспечивается при соотношении мощностей интерферирующих пучков не менее 5%, поэтому контроль деформации за  $K=8$  проходов возможен только при коэффициенте отражения (пропускания) ИАС для s- и p- поляризаций  $R_{s,p}(T_{s,p}) > 80\%$ ; при этом необходимо, чтобы коэффициент отражения опорного зеркала 7 составлял  $R_{O3} > 95\%$ ; не требуется полировки обратной поверхности опорного зеркала 7. При  $K=8$  чувствительность измерения деформации, вносимой ИАС за один проход, составляет  $h_{min} = \lambda/4K = \lambda/32$ . При измерении ИАС на пропускание опорное зеркало 7 устанавливают в поз.Е.

Если ИАС 25 контролируется на зеркальное отражение, опорное зеркало 7 устанавливается в поз.В.

Если ИАС не удовлетворяет выражению  $R_{s,p}(T_{s,p}) > 80\%$ , то соотношение мощностей интерферирующих пучков может составлять менее 5%. При этом измерения проводить невозможно, поскольку не будет видна интерферограмма. В данном случае измерение деформаций, вносимых ИАС, возможно при  $K=4$ . Для обеспечения интерференции, в том числе для выравнивания мощностей пучков (пучки X, Y), имеющих взаимно перпендикулярные направления плоскости

поляризации, куб 19 поворачивают на некоторый угол  $\beta$ . Поскольку сквозь куб проходит только составляющая поляризации излучения, совпадающая с его плоскостью поляризации  $\gamma$ , то направления колебаний электрического вектора излучения пучков после прохода через куб сонаправлены (совпадают с  $\gamma$ ) и возможна интерференция. При этом мощность пучка X ( $\gamma$  - составляющая вектора  $\vec{E}_1$ ) уменьшается значительно, а пучка Y (вектора  $\vec{E}_2$ ) - незначительно, и мощности интерферирующих пучков выравниваются, что обеспечивает приемлемый контраст интерферограммы (фиг.7). Выполнение настройки интерферометра также осуществляется на 4 прохода. При  $K=4$  чувствительность измерения деформации, вносимой ИАС за проход, составляет  $h_{\min}=\lambda/4K=\lambda/16$ .

При  $R_s^2 \cdot R_p^2 > 10^{-4}$  (контроль деформаций при зеркальном отражении от ИАС)

измерение деформаций выполняется на 4 прохода так, как только что было описано; при этом необходимо, чтобы коэффициент отражения опорного зеркала 7 составлял не менее  $R_{O3}>90\%$ .

При  $R_s>10\%$  и наличии полировки у обратной плоской непокрытой поверхности пластины ИАС настройка и измерение деформаций волнового фронта при зеркальном отражении на 4 прохода выполняются в пучках направления I отдельной наблюдательной системой, состоящей из объектива 27, диафрагмы-селектора 17 диаметром  $d_{17}=2af_{27}$  и системы 23, установленных в поз.Г. При измерении опорное зеркало 7 установлено в поз.В,  $R_{O3}>90\%$  (фиг.2). ИАС 25 устанавливается до настройки интерферометра, куб 19 поворачивают в оптимальное положение.

При  $T_s^3 \cdot T_p \cdot (R_{O3})^2 > 10^{-4}$  контроль деформаций, вносимых ИАС на пропускание, также выполняется на 4 прохода системой 23 в поз.Г. Опорное зеркало 7 устанавливается в поз.Е, требуется полировка обратной поверхности опорного зеркала, при этом необходимо, чтобы коэффициент отражения опорного зеркала 7 составлял  $R_{O3}=50\dots70\%$ . Т.к. опорное зеркало в данном случае используется другое, настройка производится заново с этим опорным зеркалом.

При  $R_5>1\%$  и наличии полировки у обратной плоской непокрытой поверхности пластины ИАС измерение деформаций волнового фронта при зеркальном отражении от ИАС выполняется на 2 прохода. При этом опорное зеркало 7 ( $R_{O3}>90\%$ ) устанавливается строго по нормали к оси пучка, и канал направления II не работает. Наблюдение интерферограммы осуществляется системой 23 в поз.Г. При измерении опорное зеркало 7 установлено в поз.В, ИАС 25 устанавливается до настройки интерферометра, опорное зеркало 7 устанавливается в поз.В.

При  $R_5 \cdot R_p \cdot R_{O3} > 10^{-4}$  и отсутствии полировки у обратной поверхности ИАС настройка и измерение деформаций волнового фронта при зеркальном отражении от ИАС выполняется также на 2 прохода. Наблюдение интерферограммы осуществляется системой 23 в поз.Ф. Опорное зеркало 7 ( $R_{O3}=50\dots70\%$ ) устанавливается в поз.В, требуется полировка обратной поверхности опорного зеркала 7. ИАС устанавливается до настройки интерферометра, опорное зеркало 7 устанавливается в поз.В, куб 19 поворачивают в оптимальное положение. При  $K=2$  чувствительность измерений  $h_{\min}=\lambda/4K=\lambda/8$ .

При каждой замене опорного зеркала производится настройка интерферометра вновь.

Преимущество изобретения состоит в том, что, построив схему интерферометра таким образом: создав замкнутый контур путем введения поляризатора-пластины и

двух зеркал с полуволновой пластиной, а также снабдив интерферометр коллимирующими объективами, вторым светоделителем и плоским зеркалом, установленным под углом к оптической оси пучка, отраженного под малым углом от опорного зеркала, исключили использование эталонного зеркала, тем самым  
5 повысили чувствительность измерений, обеспечили возможность измерения ИАС с абберациями любого типа и расширили диапазон коэффициентов отражения (пропускания) и габаритов ИАС, подлежащих измерению.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о выполнении при  
10 использовании заявляемого изобретения следующей совокупности условий:

- средство, воплощающее заявленное устройство при его осуществлении, предназначено для использования в оптико-механической промышленности и оптических лабораториях для контроля плоских зеркал, светоделителей и клиньев, в том числе крупногабаритных, а также для прецизионной юстировки телескопических систем единичного (или близкого к единичному) увеличения, что необходимо при  
15 создании высококачественных оптических систем, например больших лазеров или астрономических приборов;

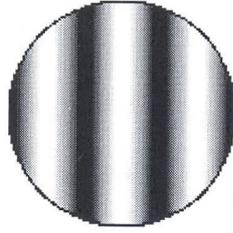
- для заявляемого устройства в том виде, в котором оно охарактеризовано в формуле изобретения, подтверждена возможность его осуществления.

Следовательно, заявляемое изобретение соответствует условию «промышленная применимость».

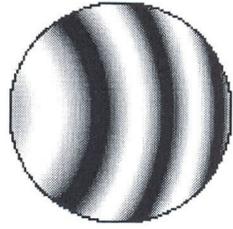
#### Формула изобретения

25 Интерферометр, содержащий формирователь коллимированного пучка со светоделителем, опорное зеркало, установленное за формирователем по ходу пучка, диафрагму-селектор, установленную в переднем фокусе объектива формирователя за светоделителем по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала под малым углом,  
30 наблюдательную систему и ПЗС-камеру, установленные за диафрагмой-селектором, и исследуемую афокальную систему, расположенную между объективом формирователя и опорным зеркалом, отличающийся тем, что содержит плоское зеркало, установленное под углом к оптической оси пучка, отраженного под малым углом от опорного зеркала, первый коллимирующий объектив, установленный софокусно с объективом формирователя, и второе плоское зеркало, установленное  
35 перпендикулярно оптической оси, второй коллимирующий объектив, установленный по ходу пучка, отраженного от опорного зеркала в обратном направлении, софокусно с объективом формирователя, снабженного вторым светоделителем, установленным  
40 под малым углом к оптической оси пучка, поляризатор-пластину и два дополнительных плоских зеркала, образующих замкнутый контур, в который введена полуволновая пластина, за светоделителем формирователя установлены дополнительный светоделитель под углом к оптической оси и вторая ПЗС-камера, расположенная за дополнительным светоделителем в фокальной плоскости объектива  
45 формирователя, наблюдательная система выполнена в виде коллимирующего и трансляционного объективов, между которыми расположен поляризационный куб, при этом коллимирующий объектив расположен софокусно с объективом формирователя по ходу пучка, отраженного от дополнительного светоделителя.

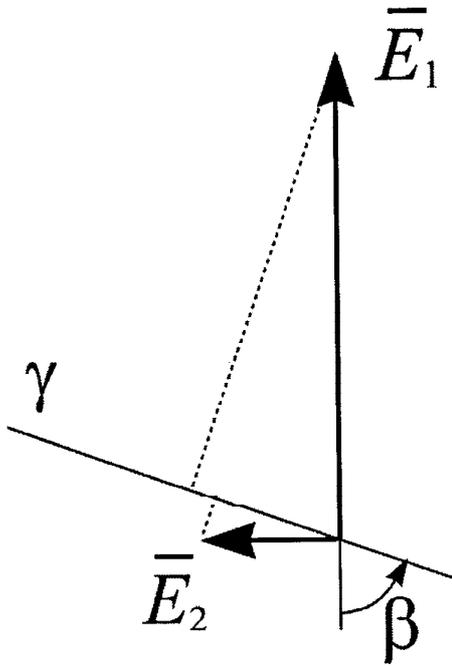




Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7