

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01D 5/38 (2017.08); G01B 11/14 (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2017115350, 02.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.05.2017Дата регистрации:
26.12.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.05.2017

(45) Опубликовано: 26.12.2017 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Одинокое Сергей Борисович (RU),
Лушников Дмитрий Сергеевич (RU),
Маркин Владимир Васильевич (RU),
Жердев Александр Юрьевич (RU),
Чугунов Юрий Петрович (RU),
Талалаев Владимир Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

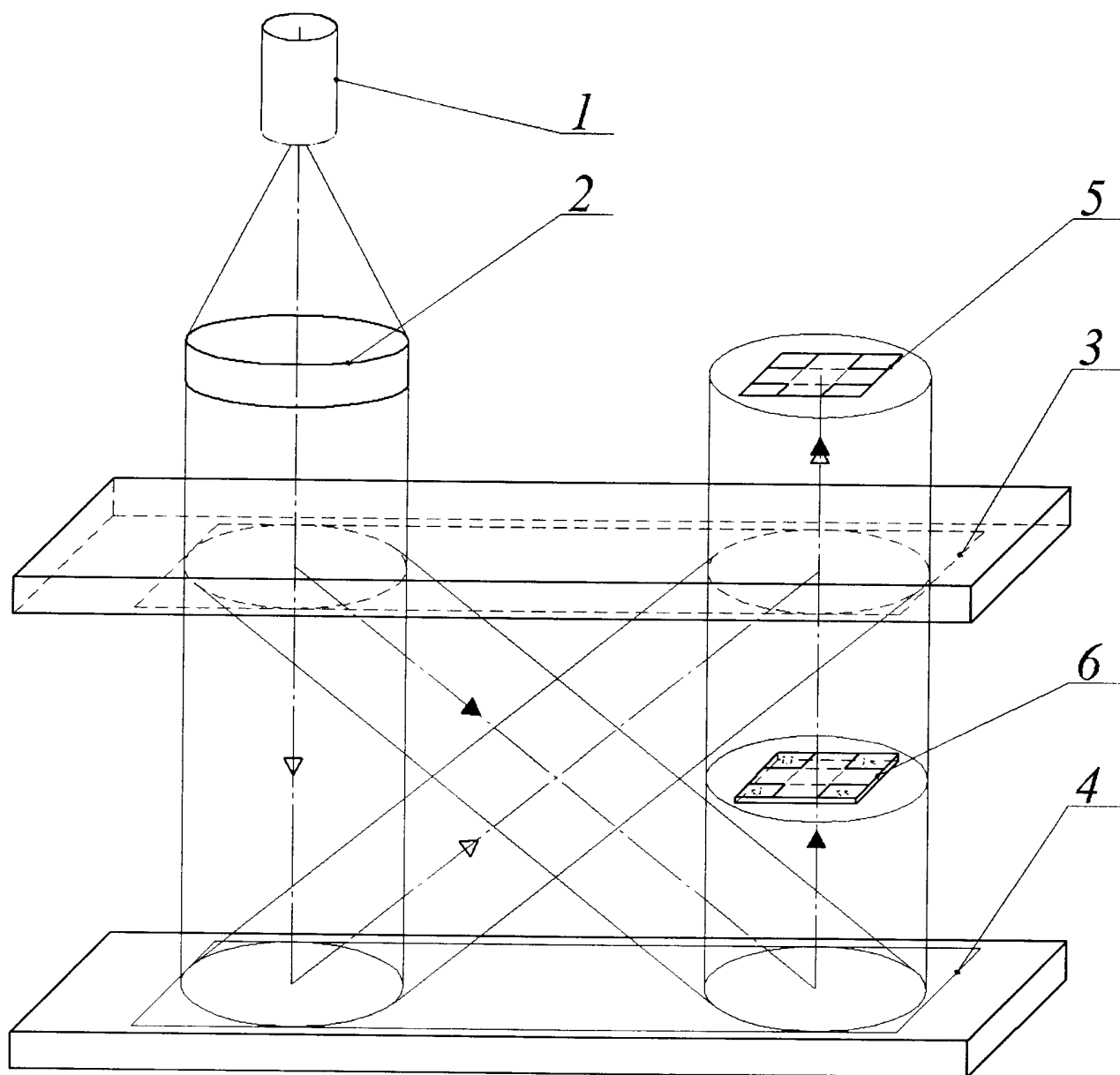
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 5569913 A1, 29.10.1996. US
7911624 B2, 22.03.2011. SU 371422 A1,
22.02.1973. US 5448357 A1, 05.09.1995.(54) Оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений с
управляемым фазовым модулятором

(57) Реферат:

Оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений состоит из источника когерентного оптического излучения, коллимирующей системы, пропускающей дифракционной решетки, многосекционного фазового элемента, представляющего собой единый оптический элемент с несколькими зонами, изготовленными встык друг с другом с возможностью внесения этими зонами фазовых сдвигов в дифрагирующие оптические пучки, блока приемников указанных

регистрируемых оптических сигналов. При этом многосекционный фазовый элемент выполнен в виде управляемого фазового модулятора с возможностью управляемого изменения фазовых сдвигов.

Технический результат заключается в повышении точности датчика за счёт получения в реальном времени максимального приращения сигнала при минимальном изменении контролируемого параметра. 7 ил.



Фиг.4

Область техники

Полезная модель относится к области прецизионных датчиков линейных перемещений с использованием оптических средств измерения посредством контроля параметров пучков световых лучей, дифрагирующих на различных комбинациях дифракционных решеток, работающих по интерференционному принципу (попарная интерференция дифрагировавших пучков между собой), и окончательно детектируемых фотоэлементами (фотоприемниками).

Уровень техники

Известен датчик фирмы Heidenhain (ФРГ), работающий по интерференционному принципу. Принцип действия и оптическая схема данного датчика (фиг. 1) описан в патенте США US 4,776,701 DISPLACEMENT MEASURING APPARATUS AND METHOD (МПК G01B 11/00; G01D 5/38; (IPC1-7): G01B 9/02, опубл. 1988-10-11) и может быть взят в качестве одного из аналогов предлагаемой полезной модели. У этого патента был также другой патентный аналог - патент СССР SU 1560068 (МПК G01B 11/00; опубл. 23.04.1990) устройство для измерения перемещений. Задача изобретения этого устройства заключалась в повышении разрешающей способности за счет использования дифракционных решеток с шагом 40 мкм. При освещении решеток, одна из которых прозрачная (пропускающая), скрепляется с объектом и выполнена с зубчатым профилем, а другая - отражательная и скрепляется с другим объектом, формируется интерференционная картина, регистрируемая с помощью детекторов, расположенных соответственно в зоне формирования нулевого, положительного и отрицательного первых порядков дифракционного изображения. По электрическим сигналам с детекторов судят о направлении и величине перемещения. Иначе говоря, данный датчик содержит перемещающуюся отражающую решетку и неподвижный узел оптической головки, состоящий из источника излучения, оптической системы, пропускающей решетки и четырех приемников (детекторов) излучения. Таким образом, данная система является многоканальной - с 2 осевыми и 2 наклонными каналами.

Недостатком данной оптической схемы датчика являются увеличенные габариты узла оптической головки по длине (вдоль длинной стороны отражающей решетки). Это приводит к тому, что при смещении отражающей решетки таким образом, что производится измерение перемещения на краю отражающей решетки, половина узла оптической головки выступает за пределы отражающей решетки длиной L (фиг. 2, примечания по обозначениям фиг. 2:- для измерения одинаковых перемещений в датчике-аналоге требуется длина перемещающейся отражающей решетки 4 на ΔL больше, чем в предлагаемой оптической схеме датчика; Оптическая головка в датчике-аналоге имеет размер на ΔL больше, чем в предлагаемой оптической схеме датчика). Это может усложнить использование датчика на некоторых типах объектов (например, в станках), поскольку требует наличия свободного пространства (по длине) вокруг перемещающейся отражающей решетки. Еще один недостаток - для измерения перемещений величиной L необходимо делать отражающую решетку длиннее, поскольку требуется ее симметричная подсветка относительно оси оптической головки (фиг. 1, 2).

Этот же недостаток увеличенных габаритов также присущ и ряду других оптических схем датчиков линейных перемещений, запатентованных в нескольких других патентах США.

Патент US 5,430,546 OPTICAL DEVICE FOR MEASURING RELATIVE POSITION OF OR ANGLE BETWEEN TWO OBJECTS (МПК G01B 11/00; G01B 11/26; G01D 5/38; (IPC1-7): G01D 9/02, опубл. 1995-07-04) - данная система многоканальная, но, как и

большинство устройств подобного типа использует несколько дифракционных направлений, что приводит к значительным габаритам устройства.

Патент US 5,120,132 POSITION MEASURING APPARATUS UTILIZING TWO-BEAM INTERFERENCES TO CREATE PHASE DISPLACED SIGNALS (МПК: G01D 5/38; (IPC1-7): G01B 9/02, опубл. 1992-06-09) - также многоканальная система. Основной ее недостаток - использование для получения пучков дополнительных массивных оптических компонентов - призм, что приводит к значительным габаритам конструкции.

Наиболее близким аналогом (прототипом) предлагаемой оптической схемы ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений можно признать схему датчика по патенту США US 005569913 A (B2) OPTICAL DISPLACEMENT SENSOR (МПК: H01J 3/14, опубл. 1996-10-29) (фиг. 3). Оптическая схема данного датчика линейных перемещений высокой точности содержит неподвижный узел оптической головки, состоящей из источника когерентного оптического излучения (лазера) (1), коллимирующей системы (объектива) (2), пропускающей дифракционную решетку (G1) и составной компонент (как многосекционный фазовый элемент в виде единого оптического элемента с несколькими (четырьмя) зонами, изготовленными встык друг с другом с возможностью внесения этими зонами фазовых сдвигов в дифрагирующие оптические пучки и пропускающего излучение, отраженное от перемещаемой отражающей решетки) в виде четырех вторичных дифракционных решеток (G3a, G3b, G3c, G3d) и четырех приемников (фотоприемников) излучения (PD1, PD2, PD3, PD4), а также перемещаемой отражающей решетки (G2). При этом период всех решеток является постоянным и единым, но четыре вторичные дифракционные решетки (G3a, G3b, G3c, G3d) смещены относительно друг друга на $\frac{1}{4}$ периода по нарастающей, то есть $\frac{1}{4} T$, $\frac{1}{2} T$ и $\frac{3}{4} T$. Таким образом, данная система является четырехканальной. Данные каналы являются осевыми (то есть направления излучения, падающего на приемники излучения (G3a, G3b, G3c, G3d) параллельны направлению излучения, сформированного после коллимирующей системы (объектива) (2). Принцип работы данной оптической схемы датчика заключается в том, что определение координаты происходит за счет получения и логической обработки оптических сигналов, продифрагировавших несколько раз на решетках и попарно проинтерферировавших друг с другом, на четырех приемниках излучения (PD1...PD4). На каждом из приемников сигнал формируется за счет интерференции двух пучков (интерференционный способ оценки перемещения) несколько раз продифрагировавших сигналов. Синусоидальное изменение интенсивности сигналов (при равномерном перемещении) на каждом из приемников происходит при перемещении отражающей решетки (G2) относительно пропускающей дифракционной решетки (G1). В данной схеме минимизированы габариты неподвижного узла оптической головки (она состоит из источника излучения (1), коллимирующей системы (объектив) (2), пропускающей дифракционную решетку (G1), четырех вторичных дифракционных решеток (G3a, G3b, G3c, G3d) и четырех приемников излучения (PD1, PD2, PD3, PD4).

Однако, существенным недостатком данной реализации является то, что составной элемент в виде четырех вторичных дифракционных решеток (G3a, G3b, G3c, G3d) сложен в изготовлении, поскольку необходимая точность смещения вторичных дифракционных решеток относительно друг друга (при их изготовлении) для определения перемещения с точностью порядка 1 нм должна составлять порядка долей нанометра. Это может быть достигнуто только при литографическом его получении (но с ограничениями) или использовании сложных оптических схем.

Также общим недостатком всех вышеприведенных схем реализаций датчиков является

то, что фазовые соотношения, вводимые в интерферирующие пучки (за счет измерения интенсивности которых и определяется перемещение), осуществляются при помощи оптических компонентов с неизменными во времени параметрами. Это не позволяет использовать в датчиках сменные дифракционные решетки, а также не позволяет динамически (во времени) изменять фазовые соотношения, вводимые в интерферирующие пучки, при работе датчика.

Раскрытие полезной модели

Применение оптического компонента, меняющего фазовые соотношения в пучках во время работы датчика, позволяет увеличить точность определения положения (при идентичной степени дискретизации сигнала), поскольку позволяет получать в реальном времени максимальное (или соответственно большое) приращение сигнала (изменения интенсивности пучка на приемнике) при минимальном (или соответственно малом) изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Достижимый технический результат полезной модели заключается в повышении точности датчика за счет применения в его оптической схеме многосекционного фазового элемента в виде управляемого фазового модулятора, который позволяет получить набор оптических сигналов, распространяющихся в одном направлении и с управляемыми изменениями фазовых сдвигов этих сигналов от управления зонами модулятора при перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки с целью получения на соответствующем приемнике или в соответствующей зоне многосекционного сборного приемника большого (для повышения точности) приращения регистрируемого сигнала при малом перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки.

Результат достигается тем, что оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений содержит неперемещаемый узел оптической головки, состоящей из источника когерентного оптического излучения, коллимирующей системы, пропускающей дифракционную решетку, пропускающей излучение в направлении перемещаемой отражающей дифракционной решетки, и многосекционного фазового элемента, установленного в световом пучке, дифрагировавшем на перемещаемой отражающей дифракционной решетке, и представляющего собой единый оптический элемент с несколькими зонами, изготовленными встык друг с другом с возможностью внесения этими зонами фазовых сдвигов в дифрагирующие оптические пучки, и пропускающего излучение, отраженное от указанной перемещаемой отражающей решетки, которая не входит в состав оптической головки, и блока приемников указанных регистрируемых оптических сигналов как совокупности попарно интерферирующих пучков. Период всех дифракционных решеток является постоянным и единым. При этом указанный многосекционный фазовый элемент выполнен в виде управляемого фазового модулятора с возможностью управляемого изменения фазовых сдвигов от действия его зон при перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки для получения на соответствующем приемнике или в соответствующей зоне многосекционного сборного приемника большого приращения регистрируемого сигнала при малом перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки.

Основное преимущество предлагаемой оптической схемы датчика по сравнению с аналогами и прототипом состоит в увеличении определения точности положения перемещаемой отражающей дифракционной решетки за счет использования в датчике многосекционного элемента в виде фазового модулятора с количеством зон ($n \times m$). Увеличение точности определения положения (при идентичной степени дискретизации

сигнала), достигается за счет того, что динамическое изменение фазовых соотношений в соответствующих зонах фазового модулятора позволяет получать на соответствующих приемниках (или в соответствующих зонах многосекционного приемника) в реальном времени максимальное приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Перенос многосекционного элемента в виде фазового модулятора в один из пучков, дифрагировавших на перемещаемой отражающей решетке, позволяет сохранить минимальные габариты схемы, предложенные в прототипе.

Дифракционные решетки 3 и 4 (фиг. 4) лучше всего могут быть выполнены по голографической технологии за счет регистрации интерференционного поля, создаваемого в зоне пересечения двух пучков излучения с плоскими волновыми фронтами. То есть данные решетки являются голографическими по методу их получения.

Перечень фигур

фиг. 1 - оптическая схема аналога голографического датчика линейных перемещений фирмы Heidenhain (ФРГ);

фиг. 2 - оптическая схема датчика прототипа, поясняющая принцип работы;

фиг. 3 - оптическая схема прототипа датчика линейных перемещений;

фиг. 4 - предлагаемая оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений;

фиг. 5 - иллюстрации, поясняющие структуру многосекционного элемента в виде многопиксельного жидкокристаллического пространственно-временного модулятора света, разделенного на зоны, которые расположены встык друг к другу;

фиг. 6 - иллюстрации, поясняющие структуру многосекционного элемента в виде набор их простых электрооптических ячеек, заполненных жидким кристаллом и управляемых электрически, которые расположены встык друг к другу.

фиг. 7 - схема изменения сигналов на приемниках при работе датчика

Осуществление полезной модели

На фиг. 4 предлагаемой оптической схемы обозначены следующие общие элементы:

1 - источник когерентного излучения (например, полупроводниковый лазер); 2 - коллимирующая оптическая система (объектив); пропускающая дифракционная решетка 3, перемещаемая отражающая дифракционная решетка 4, 5 - набор приемников, расположенными встык друг к другу, или единый составной приемник сигналов, фазовый модулятор 6 с разбиением на смежные зоны (части). Все приемники в предлагаемой схеме расположены в одном дифракционном порядке пропускающей решетки 3 - в едином направлении (канале). На фиг. 4 малыми треугольниками показан ход интерференционных пучков лучей, дифрагировавших на решетках 3 и 4 с прохождением и отражением излучения от этих решеток до прихода итоговых пучков на соответствующие приемники сигналов 5. При такой реализации датчик является многоканальным, но итоговое излучение всех каналов распространяется при падении на блок приемников 5 в одном направлении (как в одном канале). Зоны фазового модулятора 6 вносят в фазовые задержки в дифрагирующий пучок $\alpha(1,1) \dots \alpha(n \dots m)$. При начальной настройке датчика при реализации фазового модулятора с четырьмя зонами, стартовые фазовые задержки в зонах могут устанавливаться, например, как 0, $\pi/2$, π и $3\pi/2$ (с учетом параметров дифракционных решеток 3 и 4 - в частности, дифракционной эффективности решетки 4 в порядке, в котором установлен фазовый модулятор). Также стартовые фазовые задержки в зонах модулятора могут корректироваться исходя из максимизации разности между сигналами, получаемыми

на приемнике 5 в различных зонах. При начале работы датчика в зависимости от скорости изменения сигналов производится изменение фазовых задержек в соответствующих зонах модулятора с целью получения как минимум на одном приемнике (или в одной зоне многосекционного приемника) максимального приращения сигнала при минимальном перемещении отражающей решетки 4.

В предлагаемой оптической схеме датчика (фиг. 4) используется одно направление, в котором совмещены четыре или более каналов. Все приемники 5 (или многосекционный приемник) в предлагаемой схеме расположены в одном дифракционном порядке решетки 3. Многосекционный фазовый элемент в виде фазового модулятора 6 разделен на части (зоны), количество которых равно количеству приемников излучения (или количеству зон многосекционного приемника). Зоны фазового модулятора вносят в фазовые задержки $\alpha(1,1) \dots \alpha(n \dots m)$ в световом пучке, дифрагировавшем на перемещаемой отражающей дифракционной решетке.

Многосекционный фазовый элемент в виде фазового модулятора может представлять собой многопиксельный жидкокристаллический пространственно-временной модулятор света, описанный, например, в статье (И.Н. Компанец, А.Л. Андреев «Микро-дисплеи для цифровой голографии», тезисы докладов Международной Конференции «ГолоЭкспо-2016», стр. 114-121) и разделенный на зоны, которые расположены встык друг к другу (фиг. 5). В каждой из зон создается своя фазовая задержка, которая может динамически изменяться во время работы датчика.

Также многосекционный фазовый элемент в виде фазового модулятора может представлять собой набор их простых электрооптических ячеек, заполненных жидким кристаллом и управляемых электрически, описанных в статье (А.Л. Андреев, Т.Б. Андреева, И.Н. Компанец, Н.В. Заляпин, «Перспективы подавления спеклов с помощью ячеек с сегнетоэлектрическим ЖК», тезисы докладов Международной Конференции «ГолоЭкспо-2015», стр. 94-102). При этом данные ячейки также располагаются встык друг к другу, фиг. 6 (а, б, в, г): фиг. 6а) - разбиение на зоны фазового модулятора в случае, если таких зон четыре; фиг. 6б) - обозначение показателей преломления n в соответствующих зонах фазового модулятора в случае, если таких зон четыре; фиг. 6в) - разбиение на зоны фазового модулятора в случае, если таких зон в матрице $(n \times m)$ - штук; фиг. 6г) - обозначение показателей преломления n в соответствующих зонах фазового модулятора в случае, если таких зон в матрице $(n \times m)$ - штук), каждая ячейка представляет собой отдельную зону, и в каждой из ячеек создается своя фазовая задержка $\alpha(1,1) \dots \alpha(n \dots m)$ за счет приложения к ней постоянного электрического поля нужной мощности. Фазовые задержки $\alpha(1,1) \dots \alpha(n \dots m)$ определяются изменением показателей преломления $n_{1,1} \dots n_{n,m}$, которые создаются в зонах фазового модулятора при воздействии на них постоянного электрического поля нужной мощности. Фазовые задержки в ячейках (зонах) могут динамически изменяться во время работы датчика.

Более подробно схему изменения разности фаз в зонах фазового модулятора и соответствующего изменения сигнала на приемниках для получения как минимум на одном из них максимального приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки) поясним на примере фазового модулятора с двумя зонами (b_1 и b_2) и двумя приемниками (5_1 и 5_2). Изначальные фазовые соотношения в пучках выставлены таким образом, чтобы сигналы на приемниках 5_1 и 5_2 имели вид, представленный на фиг. 7 (шаг 1).

При этом при первом измерении перемещения отражающей решетки (получении

первого отсчета измерения) на первом приемнике как раз и будет измеряться максимальное приращение сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки). На втором приемнике 5_2 сигнал должен отличаться от сигнала на приемнике 5_1 , поскольку по их взаимному изменению определяется направление движения отражающей решетки.

При втором измерении перемещения отражающей решетки (получении второго отсчета измерения) фазовая зона модулятора 6_2 вносит задержку по фазе таким образом, чтобы сигнал на приемнике 5_2 принял вид, представленный на фиг. 7 (шаг 2). При этом для сигнала на приемнике 5_2 будет выполняться условие максимального приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

При третьем измерении перемещения отражающей решетки (получении третьего отсчета измерения) фазовая зона модулятора 6_1 вносит задержку по фазе таким образом, чтобы сигнал на приемнике 5_1 принял вид, представленный на фиг. 7 (шаг 3). При этом для сигнала на приемнике 5_1 будет выполняться условие максимального приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Далее идет последовательное изменение фазовых задержек то в зоне 6_1 , то в зоне 6_2 для получения на соответствующих приемниках 5_1 и 5_2 сигналов, для которых попеременно бы выполнялось условие максимального приращения сигнала при измерении соответствующего шага (получение очередного отсчета измерения) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Поскольку скорость перемещения отражающей решетки может быть значительной, то частота изменения фазовых соотношений, вносимых зоной фазового модулятора 6 , также будет высокой. В настоящее время чтобы снизить требования к частоте изменения фазовых задержек для конкретной зоны имеет смысл использовать фазовый модулятор с количеством зон больше, чем 2. Тогда частота изменения фазовых задержек в соответствующей зоне будет уменьшаться кратно количеству используемых в фазовом модуляторе зон. При этом определение итогового перемещения отражающей решетки происходит за счет суммирования отсчетов. Данные отсчеты получаются после оцифровки аналогового сигнала. Для упрощения схемы оцифровки сигналов и суммирования отсчетов необходимо использование дополнительных зон на фазовом модуляторе. В одной из таких зон при текущем измерении положения задается фазовая задержка с добавкой фазы $\pi/2$ к фазе на приемнике, обеспечивающую изменение с максимальным приращением сигнала при минимальном изменении контролируемого параметра. При подобной реализации вычисление перемещения происходит по стандартной $\sin - \cos$ модели.

Пример осуществления

Данная полезная модель разработана в рамках выполнения темы «Исследование и разработка экспериментального образца ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений» по соглашению от «27» октября 2015 г. №14.577.21.0197 МГТУ им. Н.Э. Баумана с Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Спроектирован

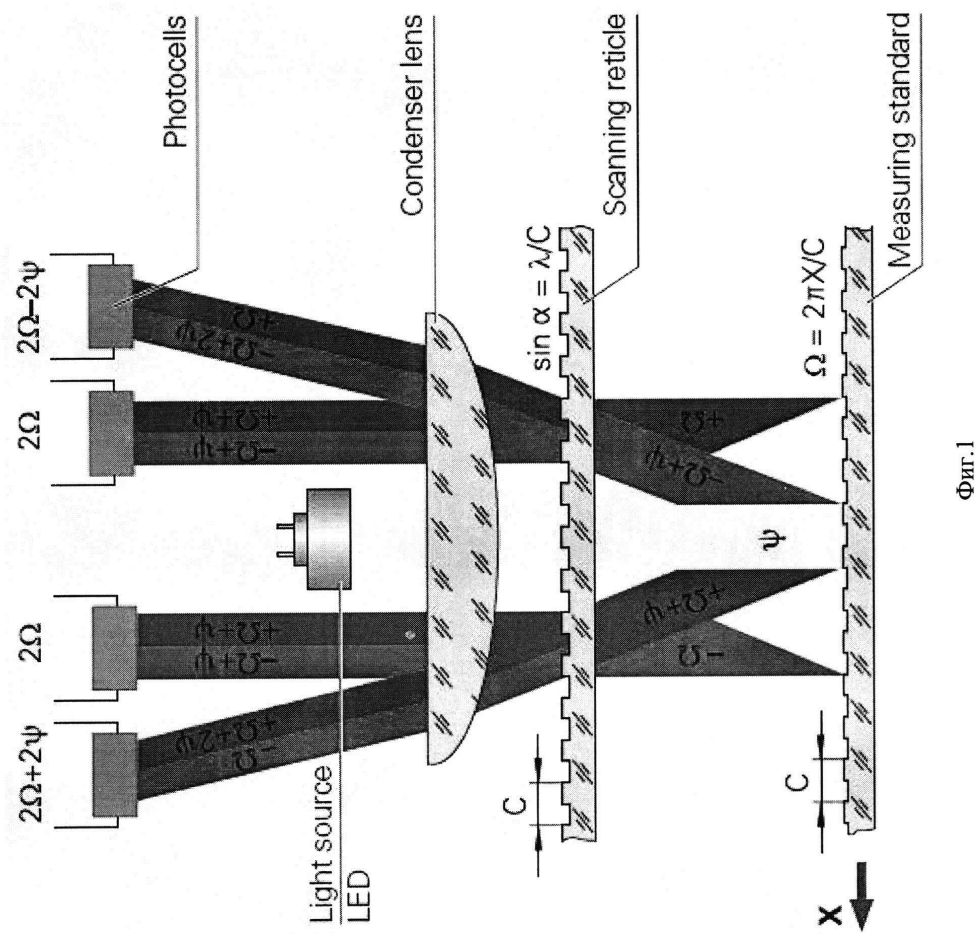
опытный образец предлагаемой оптической схемы линейного датчика высокой точности. Период всех решеток $T=1$ мкм. В схеме использовался вариант с 4 приемниками излучения. Фазовый модулятор представлял собой 4-зональный многосекционный элемент (набор их простых электрооптических ячеек, заполненных жидким кристаллом, управляемых электрически и расположенных встык друг к другу). В ходе работы датчика отрабатывалось измерение положения перемещающейся отражающей решетки до скоростей 200 мм/мин.

Габариты узла оптической головки с решеткой 3, фазовым модулятором 6 и приемниками 5 могут составить приблизительно $30 \times 70 \times 40$ мм. При этом разрешение датчика при измерении линейных перемещений выше, чем и у аналогичных датчиков с идентичными параметрами и использующих статические компоненты изменения фазовых задержек (фазовый маски; составные дифракционные решетки, смещенные относительно друг друга), а именно: разрешение при измерении перемещения составляет 0,5 нм (такая точность соответствует понятию «ультрапрецизионность» датчика) при перемещении отражающей решетки на 1 мкм (при смещении на один период решетки, равный 1 мкм, имеем два периода изменения измерительного сигнала).

(57) Формула полезной модели

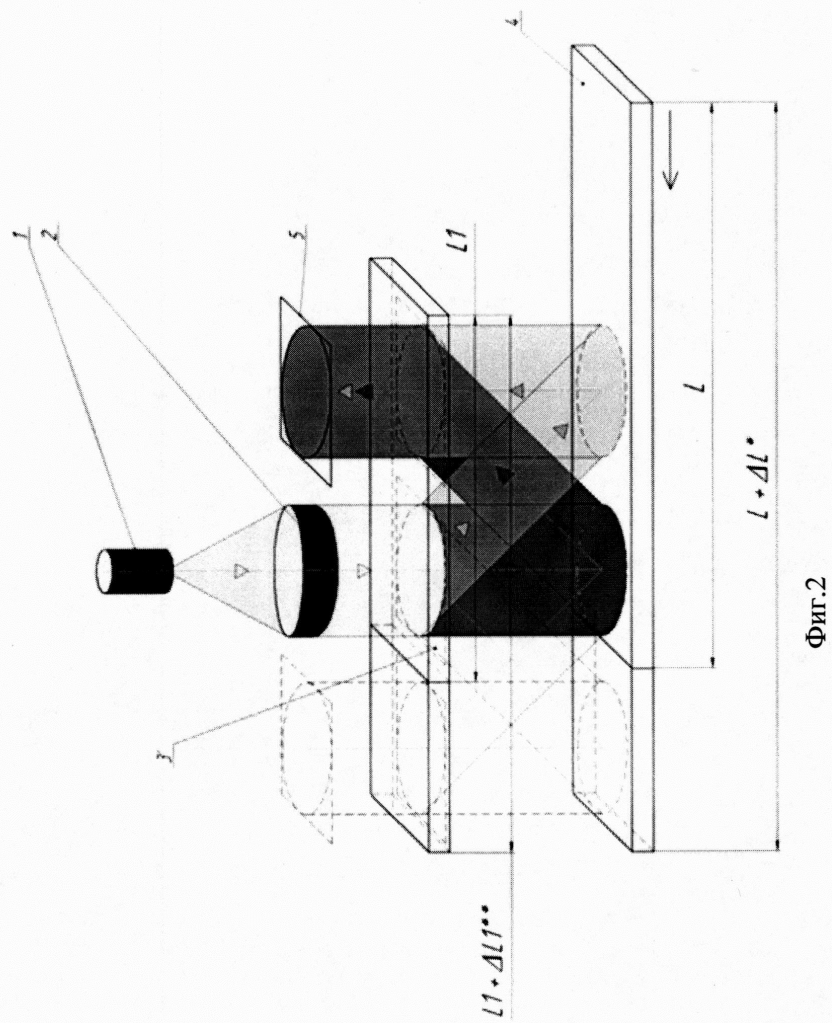
Оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений в виде оптической головки, состоящей из источника когерентного оптического излучения, коллимирующей системы, пропускающей дифракционной решетки, пропускающей излучение в направлении перемещаемой отражающей дифракционной решетки, и многосекционного фазового элемента, установленного в световом пучке, дифрагировавшем на перемещаемой отражающей дифракционной решетке, и представляющего собой единый оптический элемент с несколькими зонами, изготовленными встык друг с другом с возможностью внесения этими зонами фазовых сдвигов в дифрагирующие оптические пучки, и пропускающего излучение, отраженное от указанной перемещаемой отражающей решетки, и блока приемников указанных регистрируемых оптических сигналов как совокупности дифрагировавших и попарно интерферирующих пучков, при этом период дифракционных решеток является постоянным и единым, отличающаяся тем, что указанный многосекционный фазовый элемент выполнен в виде управляемого фазового модулятора с возможностью управляемого изменения фазовых сдвигов от действия его зон при перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки для получения на соответствующем приемнике большого приращения регистрируемого сигнала при малом перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки.

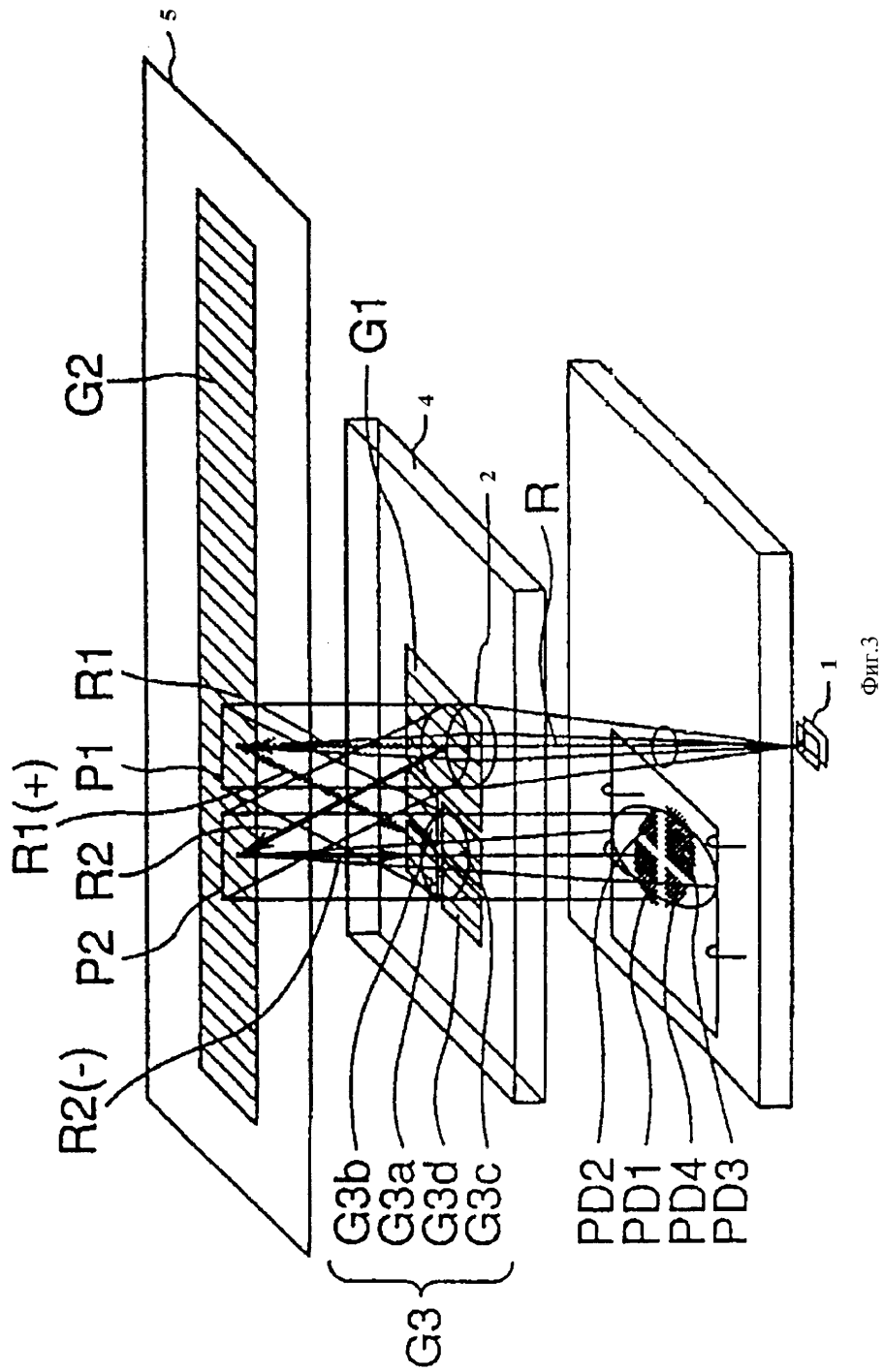
1



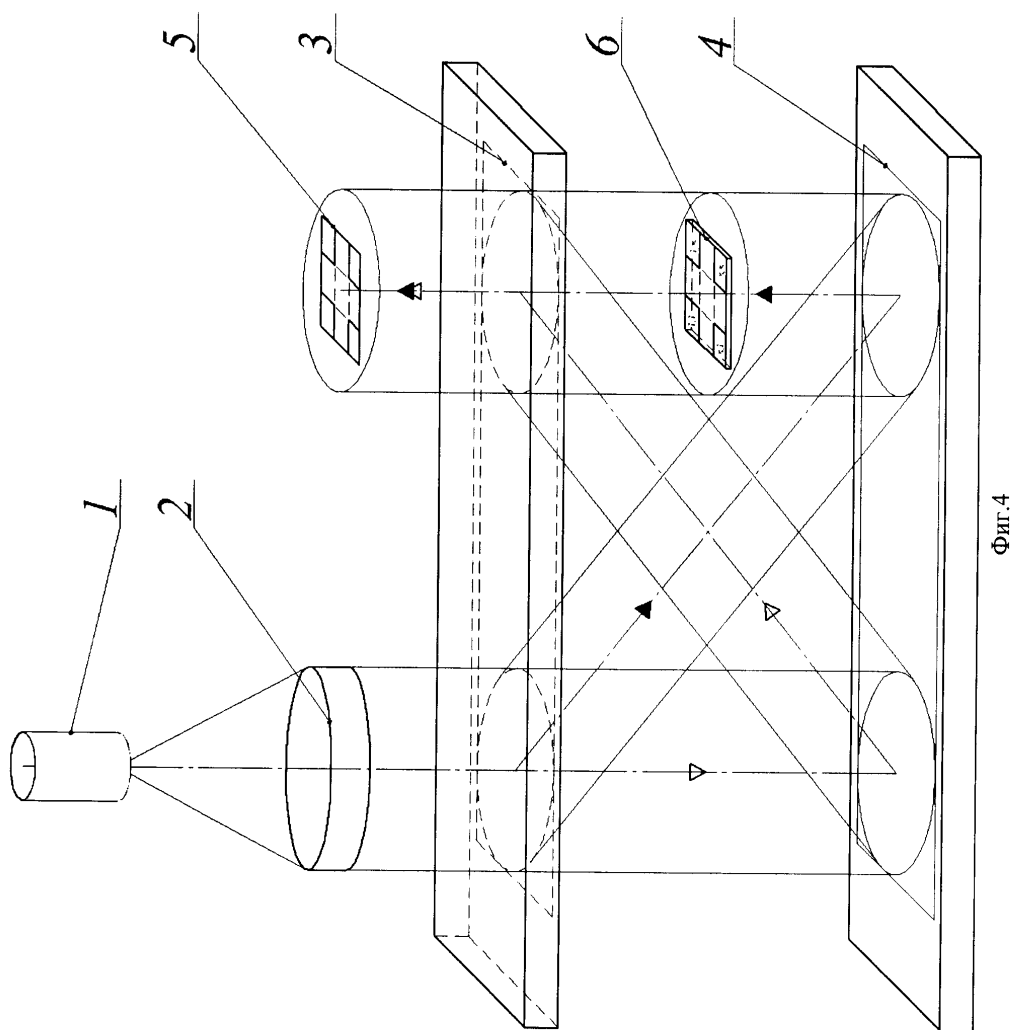
10

2

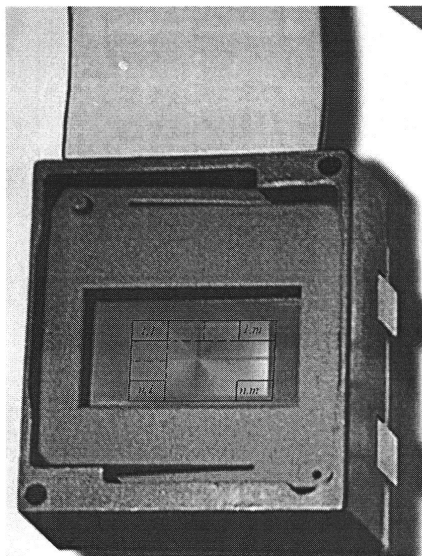




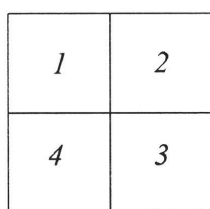
Фиг.3



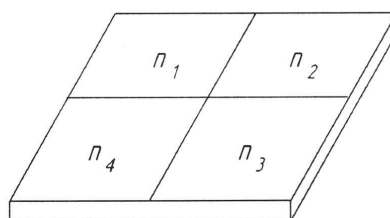
Фиг. 4



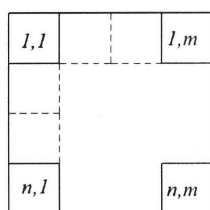
Фиг.5



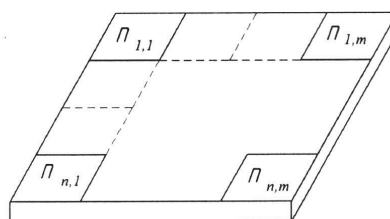
а)



б)

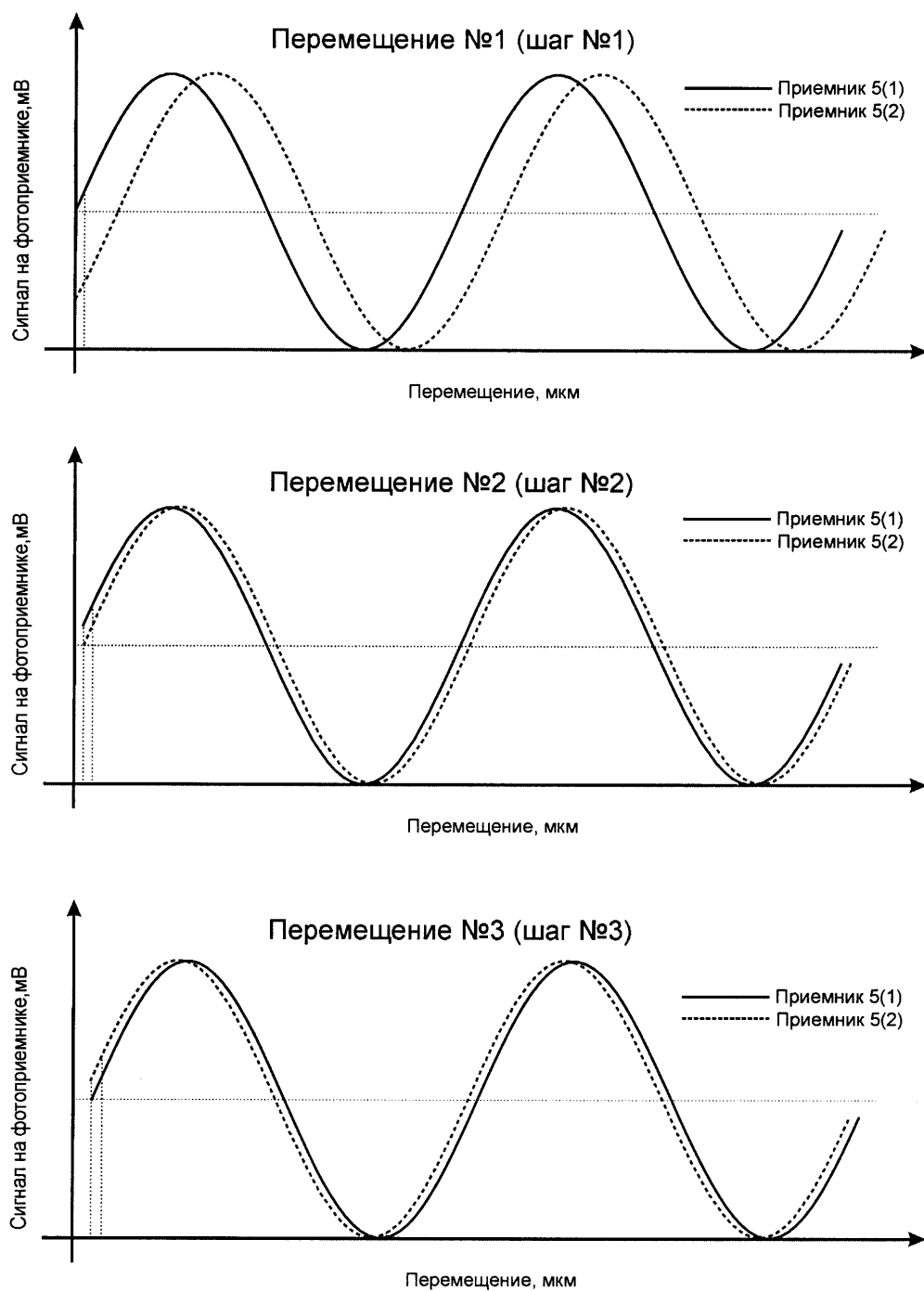


в)



г)

Фиг.6



Фиг.7