



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2009127806/28**, 19.12.2007(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**19.12.2007**

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
**19.12.2006 US 60/875,719**  
**29.10.2007 US 11/978,538**(43) Дата публикации заявки: **27.01.2011** Бюл. № 3(45) Опубликовано: **20.10.2012** Бюл. № 29(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **US 3960017 A, 01.06.1976. EP 0214040 A2,**  
**11.03.1987. US 6243506 A, 05.06.2001. JP**  
**58041333 A, 10.03.1983. US 6045259 A,**  
**04.04.2000. SU 45382 A1, 31.12.1935.**(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: **20.07.2009**(86) Заявка РСТ:  
**IB 2007/004148 (19.12.2007)**(87) Публикация заявки РСТ:  
**WO 2008/075197 (26.06.2008)**

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,**  
**ООО "Юридическая фирма Городисский и**  
**Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову,**  
**рег.№ 595**

(72) Автор(ы):

**КЛУТЬЕ Матье (СА),**  
**ПРОНОВОСТ Жан (СА),**  
**КЛУТЬЕ Марьюс (СА)**

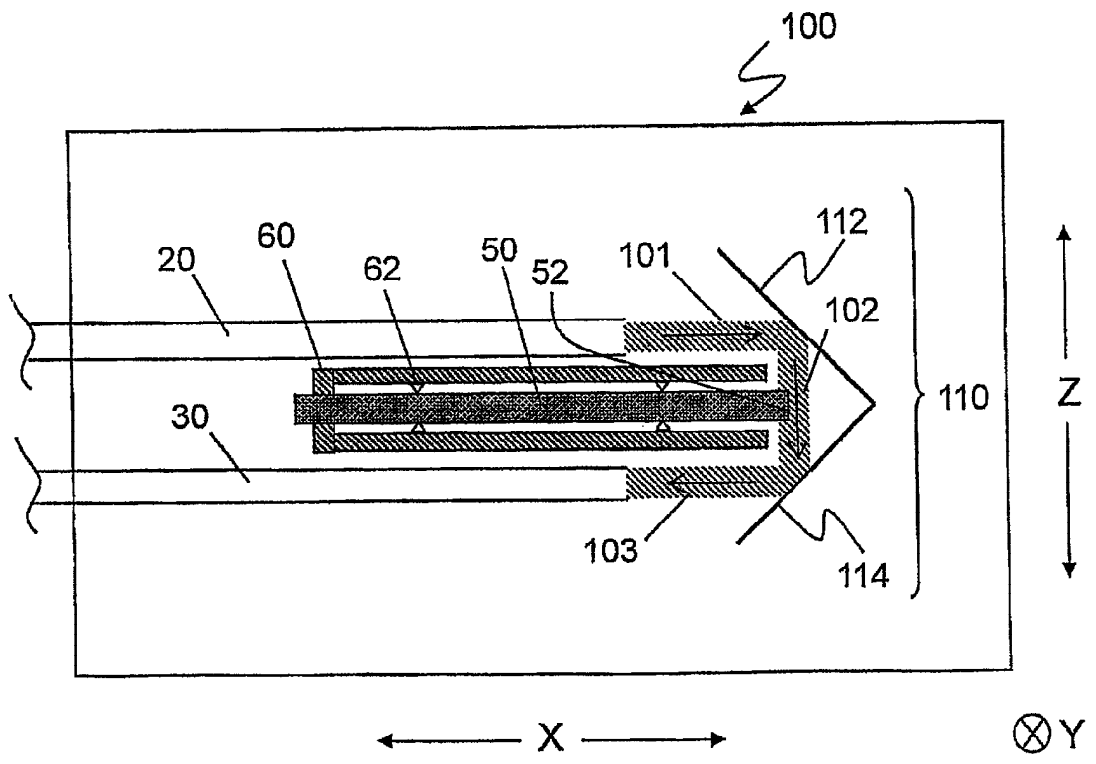
(73) Патентообладатель(и):

**ВАЙБРОСИСТМ, ИНК. (СА)****(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерения температуры. Датчик содержит, по меньшей мере, одно испускающее свет оптическое волокно, одно принимающее свет оптическое волокно и неэлектропроводящий элемент, расширяющийся при изменении его температуры так, что переменным образом перекрывает испускаемый свет. Принимающее свет оптическое волокно передает интенсивность света и изменения

интенсивности света на электронное устройство с управляющей схемой на основе контура обратной связи и опорного сигнала. Электронное устройство включает в себя анализатор интенсивности света, который анализирует изменения интенсивности света, принятого принимающим оптическим волокном. Технический результат - минимизация вибраций и компенсация изменений в компонентах устройства. 5 н. и 17 з.п. ф-лы, 19 ил.



Фиг.2

RU 2 4 6 4 9 4 7 C 2

RU 2 4 6 4 5 3 7 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**G01K 5/52** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2009127806/28, 19.12.2007**

(24) Effective date for property rights:  
**19.12.2007**

Priority:

(30) Convention priority:  
**19.12.2006 US 60/875,719**  
**29.10.2007 US 11/978,538**

(43) Application published: **27.01.2011 Bull. 3**

(45) Date of publication: **20.10.2012 Bull. 29**

(85) Commencement of national phase: **20.07.2009**

(86) PCT application:  
**IB 2007/004148 (19.12.2007)**

(87) PCT publication:  
**WO 2008/075197 (26.06.2008)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO**  
**"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",**  
**pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):

**KLUT'E Mat'e (CA),**  
**PRONOVOST Zhan (CA),**  
**KLUT'E Mar'jus (CA)**

(73) Proprietor(s):

**VAJBROSISTM, INK. (CA)**

RU 2 464 537 C2

RU 2 464 537 C2

(54) **FIBRE-OPTIC TEMPERATURE SENSOR**

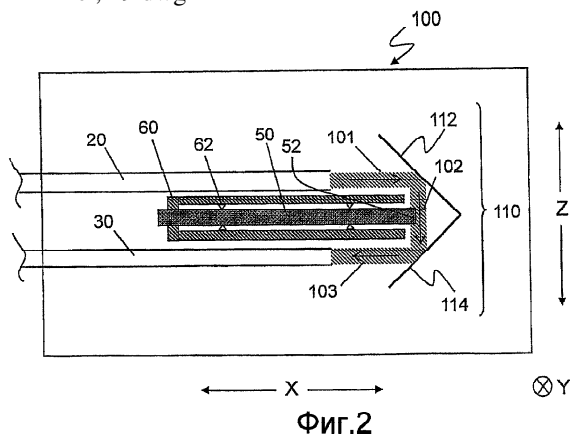
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: sensor has at least one light-emitting optical fibre, one light-receiving optical fibre and a non-electroconductive element which expands as its temperature varies, such that it blocks the emitted light in a varying manner. The light-receiving optical fibre transmits light intensity and change in light intensity to an electronic device with a control circuit based on a feedback loop and a reference signal. The electronic device includes a light intensity analyser which analyses changes in intensity of light received by the receiving optical fibre.

EFFECT: minimising vibrations and

compensation for changes in device components.  
22 cl, 19 dwg



## ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Эта заявка претендует на приоритет по предварительной заявке на патент США № 60/875719, поданной 19 декабря 2006 года, и заявке на патент США № 11/978538, поданной 29 октября 2007 года, которые включены в данное описание путем ссылки.

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Изобретение относится к области измерения температуры, в частности к способу и устройству для измерения температуры, использующим волоконно-оптические датчики температуры, например, в электромагнитном и/или электрическом оборудовании и в промышленных машинах.

## ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Измерение и контроль температуры в электрических машинах (например, генераторах, двигателях, трансформаторах и им подобных) часто требует специальных предосторожностей из-за присутствия электромагнитных полей и/или механических вибраций. В частности, следует избегать присутствия металлических или проводящих частей в конструкции измеряющей температуру головки, которая находится внутри или поблизости от таких машин, в особенности, когда контролируется температура стержней статора генераторов и/или двигателей или температура обмоток трансформаторов. Также металлические или проводящие компоненты могут, изменяя путь электрического поля, создавать частичные разряды.

Кроме того, для контроля температуры в таком электромагнитном оборудовании требуются датчики, являющиеся достоверными в течение длительного периода времени, чтобы избежать любых ложных сигналов тревоги, которые могут быть дорогостоящими. Также эти температурные датчики должны быть прочными и вибростойкими, так как часто предполагается работа таких датчиков в условиях вибраций.

В таких применениях измеряемая температура обычно менее 200°C. Так как часто бывает необходимо разместить многочисленные датчики в различных частях машины, то затраты на контроль, такие как затраты на установку, измерение, техническое обслуживание и ремонт, должны быть минимизированы и такие датчики должны быть настолько малыми и создающими минимальные помехи работе оборудования, насколько возможно.

Датчики температуры, использующие волоконную оптику, могут преобразовывать изменения температуры в изменения света, которые могут быть проанализированы фотоэлектрическими и/или электронными средствами вдали от измерительной головки и от электромагнитного окружения. Ниже описаны примеры известных датчиков температуры, использующих волоконную оптику.

Патент США № 5031987, принадлежащий Norling, который включен в данное описание путем ссылки, описывает оптический преобразователь, находящийся перед скошенным концом единого излучающего и принимающего свет оптического волокна так, что любое перемещение преобразователя (из-за изменения температуры или давления) изменяет свет, отраженный обратно на оптическое волокно. Для того чтобы уменьшить чувствительность системы к ударному воздействию и вибрациям, Norling предлагает использовать магнитно фиксированную биметаллическую тепловую пластинку как чувствительный элемент и магнит, находящийся в контакте с одним концом чувствительного элемента. В действии, биметаллическая пластинка реагирует, в зависимости от температуры, на магнитные интенсивности притяжения, создаваемые магнитом.

Патент США № 5295206, принадлежащий Mishenko, который включен в данное

описание путем ссылки, описывает датчик температуры для тела человека, в котором маленький воздушный промежуток увеличивается или уменьшается из-за относительного растяжения или сокращения термочувствительного стержня, установленного внутри металлического цилиндра, имеющего другой коэффициент теплового расширения. Отражающая поверхность на одном конце стержня отражает падающий свет, излучаемый через оптическое волокно, на параллельное и близко расположенное оптическое волокно, принимающее свет. Изменение принимаемого отраженного света соответствует изменению температуры. Однако представлено мало подробностей о точном пути, по которому отраженный свет достигает принимающего оптического волокна. Конкретно, в волоконно-оптических датчиках непренебрежимое количество отраженного света может перемещаться по всему воздушному объему, разделяющему излучающее и принимающее волокна, и может быть причиной больших «шумов», влияя таким образом на чувствительность к изменениям температуры и на воспроизводимость измерений температуры. Более того, движение оптических волокон может быть причиной невоспроизводимости измерений. Кроме того, должно быть обеспечено минимальное боковое трение стержня в течение длительного периода времени и в условиях любых температур и вибраций, что может потребовать высокой механической точности и затрат на точную настройку.

Патент США № 5870511, принадлежащий Sawatari, который включен в данное описание путем ссылки, использует принцип изменяющегося воздушного промежутка, подобный использованному в патенте США № 5295206, принадлежащем Mishenko. В патенте, принадлежащем Sawatari, измерительная головка датчика включает корпус датчика, присоединенный к концу одного оптического волокна. Металлическая отражающая поверхность присоединена к корпусу поблизости от конца оптического волокна так, чтобы образовался имеющий заданную длину промежуток между отражающей поверхностью и оптическим волокном. Система обнаружения также присоединена к оптическому волокну и определяет температуру в области измерительной головки из интерференционной картины света, который отражен от отражающей поверхности. В дополнение к проблемам, обсуждавшимся в данном описании по отношению к устройству, предложенному в ссылке Mishenko, в варианте Sawatari должны быть приняты во внимание значительные затраты на анализ интерференционных картин.

Патент США № 5359445, принадлежащий Robertson, который включен в данное описание путем ссылки, описывает датчик температуры с цилиндрическим корпусом, который расширяется или сокращается радиально в соответствии с изменениями внешней температуры. Корпус содержит два противоположных оптических волокна, разделенных прозрачной гибкой пленкой с рельефным изображением, прикрепленной к корпусу, которая деформируется при движениях корпуса. Этот датчик может быть использован для измерения температуры газа или жидкости, в которые датчик погружен, однако не кажется подходящим для измерения температуры твердых тел, так как движения его цилиндрического корпуса и деформации рельефа на пленке могут быть заторможены или, по меньшей мере, возмущены трением его цилиндрической основы о твердое тело. Также не принято никаких предосторожностей против влияния вибраций, имеющих радиальную компоненту.

Другие патенты (например, патенты США № 6960019, принадлежащий Dammann, и № 5392117 и № 5202939, оба принадлежащие Belleville, и другие - все они включены в данное описание путем ссылки) рассматривают использование анализа оптических

интерференционных картин и интерферометрии Фабри-Перо для предложения малогабаритных волоконно-оптических датчиков температуры. Однако обычно такие датчики требуют использования совместно с ними сложного, точного и дорогостоящего оборудования для анализа интерференции.

Таким образом, было бы желательно обеспечить малогабаритный и надежный волоконно-оптический датчик температуры, который можно было бы эффективно использовать в условиях электромагнитного окружения и/или вибраций для измерения температуры заданной части машины или аппарата и который не требует сложного и дорогостоящего оборудования для анализа информации, поступающей с датчика.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Согласно системе, рассмотренной в данном описании, датчик температуры включает в себя передатчик, который испускает свет, и первый приемник, расположенный так, чтобы принимать свет, испускаемый передатчиком.

Термочувствительный элемент, расположенный на пути света между передатчиком и первым приемником, переменным образом перекрывает, по меньшей мере, часть света, испущенного передатчиком, причем часть света, переменным образом перекрытая термочувствительным элементом, изменяется в соответствии с изменением температуры термочувствительного элемента. Передатчик и приемник могут быть оптическими волокнами. Термочувствительный элемент может быть неэлектропроводящим. С первым приемником может быть соединен первый детектор, который анализирует интенсивность света, принятого первым приемником, и определяет изменение температуры термочувствительного элемента на основании изменения интенсивности света. Рядом с первым приемником может быть расположен второй приемник, и второй приемник может принимать неперекрываемую часть света от передатчика, причем неперекрываемая часть света, принимаемая вторым приемником, по существу не зависит от изменения температуры

термочувствительного элемента. Со вторым приемником может быть соединен второй детектор, используемый для калибровки датчика. Второй детектор может позволять проводить калибровку датчика, потребность в которой возникает из-за дрейфа, вызванного, по меньшей мере, одним из следующего: старение датчика, изменения окружающей температуры и изменение светопропускания передатчика или первого приемника. К передатчику и первому приемнику может быть присоединено электронное устройство, которое включает в себя управляющую схему, управляющую интенсивностью света, испускаемого передатчиком, на основании контура обратной связи и используя опорный сигнал, причем электронное устройство включает в себя, по меньшей мере, один анализатор интенсивности света, который анализирует изменения интенсивности света, принятого первым приемником, и выдает на выходе, по меньшей мере, один сигнал. Термочувствительный элемент может иметь геометрию, которая меняется по существу пропорционально изменению температуры.

Передатчик может быть напрямую обращен к первому приемнику, и при этом путь света между передатчиком и приемником может представлять собой промежуток между передатчиком и первым приемником. В альтернативном варианте может быть использована мишень, отражающая падающий свет, полученный от передатчика, на первый приемник. Мишень может включать в себя зеркало с двумя поверхностями, у которого первая и вторая поверхности расположены под углом, приблизительно равным  $90^\circ$ , друг к другу, причем первая поверхность принимает от передатчика падающий свет под первым углом падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , и отражает падающий свет на вторую поверхность под вторым углом падения, приблизительно

равным  $45^\circ$ , вторая отражающая поверхность отражает падающий свет, принятый от первой поверхности, на первый приемник. Мишень может включать в себя искривленное зеркало. Мишень может быть плоским зеркалом, и передатчик может быть расположен под углом по отношению к первому приемнику.

5 Далее, согласно системе, рассмотренной в данном описании, способ измерения температуры может включать в себя обеспечение передатчика, который испускает свет, и обеспечение первого приемника, который принимает свет, испущенный передатчиком. Может быть обеспечено, чтобы, по меньшей мере, часть света, 10 испущенного передатчиком, переменным образом перекрывалась, перед тем как свет будет принят первым приемником, причем эта переменным образом перекрытая часть света изменялась в соответствии с изменением температуры. Интенсивность света, испущенного передатчиком, может управляться по контуру обратной связи, с 15 использованием опорного сигнала. Может быть обеспечено, чтобы опорный сигнал принимался вторым приемником, причем опорный сигнал был по существу независим от изменения температуры. Свет, принятый первым приемником, может быть проанализирован, и может быть определено изменение температуры. Может быть обеспечена мишень, которая принимает падающий свет от передатчика и отражает свет на первый приемник. 20

Далее, согласно системе, рассмотренной в данном описании, датчик температуры включает в себя передающее оптическое волокно, которое испускает свет, зеркало, которое отражает падающий свет, полученный от передающего оптического волокна, и принимающее оптическое волокно, расположенное так, чтобы принимать свет, 25 отраженный от зеркала. На пути света между передающим оптическим волокном и оптическим волокном первого приемника может быть расположен термочувствительный элемент, который переменным образом перекрывает, по меньшей мере, часть света, испущенного передатчиком. Эта часть света, которая 30 может быть переменным образом перекрыта термочувствительным элементом, изменяется в соответствии с изменением температуры термочувствительного элемента. Зеркало включает в себя зеркало с двумя поверхностями, у которого первая и вторая поверхности расположены под углом, приблизительно равным  $90^\circ$ , друг к другу, причем первая поверхность принимает от передатчика падающий свет под первым 35 углом падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , и отражает падающий свет на вторую поверхность под вторым углом падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , вторая поверхность отражает падающий свет, принятый от первой поверхности, на первый приемник. В альтернативном варианте зеркало может включать в себя, по меньшей мере, одно из следующего: единственное плоское зеркало и одно искривленное 40 зеркало. Может быть предусмотрено опорное оптическое волокно, которое принимает неперекрываемую часть света от передатчика, причем эта неперекрываемая часть света, принимаемая опорным оптическим волокном, по существу не зависит от изменения температуры термочувствительного элемента. 45

Далее, согласно системе, рассмотренной в данном описании, способ измерения температуры включает в себя обеспечение передающего оптического волокна, которое испускает свет, обеспечение зеркала, которое отражает свет, принятый от передающего волокна, и обеспечение приемного оптического волокна, которое 50 принимает свет, отраженный от зеркала. Может быть обеспечено, чтобы, по меньшей мере, часть света, испускаемого передающим оптическим волокном, переменным образом перекрывалась, перед тем как этот свет будет принят первым приемником, причем эта переменным образом перекрытая часть света изменялась в соответствии с

изменением температуры. Может быть обеспечено опорное оптическое волокно, которое принимает непрерываемую часть света от передатчика, причем эта непрерываемая часть света, принимаемая опорным оптическим волокном, по существу не зависит от изменения температуры термочувствительного элемента.

5 Далее, согласно системе, рассмотренной в данном описании, датчик температуры включает в себя корпус, расположенный на корпусе соединительный интерфейс, расположенный в корпусе передатчик, который испускает свет, и расположенный в корпусе приемник, который принимает свет, испущенный передатчиком. На пути  
10 света между передатчиком и первым приемником может быть расположен термочувствительный элемент, который переменным образом перекрывает, по меньшей мере, часть света, испущенного передатчиком, причем часть света, переменным образом перекрытая термочувствительным элементом, изменяется в соответствии с изменением температуры термочувствительного элемента. В корпусе  
15 может быть расположено электронное устройство, соединенное с приемником и соединенное с соединительным интерфейсом. Электронное устройство может обнаруживать и анализировать свет, принятый приемником, и выдавать на выходе сигнал, являющийся мерой температуры, основанный на изменении интенсивности  
20 света.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Варианты осуществления системы описываются со ссылками на несколько чертежей, на которых:

25 фиг.1 представляет собой схематический вид варианта осуществления оптического датчика температуры согласно рассмотренной в данном описании системе.

Фиг.2 представляет собой схематический вид измерительной головки для оптического датчика температуры согласно рассмотренной в данном описании системе.

30 Фиг.3 представляет собой по-другому ориентированный схематический вид измерительной головки, показанной на фиг.2, согласно рассмотренной в данном описании системе.

Фиг.4 представляет собой схематическую иллюстрацию входящего в состав измерительной головки зеркала с двумя поверхностями, наблюдаемого по  
35 направлению падающего света, согласно рассмотренной в данном описании системе.

Фиг.5 представляет собой схематический вид другого варианта осуществления оптического датчика температуры, включающего третье оптическое волокно, согласно рассмотренной в данном описании системе.

40 Фиг.6 иллюстрирует расположение опорного оптического волокна в измерительной головке, при котором опорное оптическое волокно размещено рядом с приемным оптическим волокном, согласно варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

45 Фиг.7 представляет собой схематическую иллюстрацию, показывающую другой вариант осуществления рассмотренной в данном описании системы, в котором испущенный передающим оптическим волокном свет напрямую принимается приемным оптическим волокном без промежуточного зеркала.

50 Фиг.8 представляет собой схематическую иллюстрацию другого варианта осуществления рассмотренной в данном описании системы и показывает перекрытие падающего света термочувствительным элементом, расположенным в поперечном направлении к оптическим волокнам.

Фиг.9 представляет собой схематическую иллюстрацию другого варианта



осуществления рассмотренной в данном описании системы и показывает другую конфигурацию оптических волокон и термочувствительного элемента.

5 Фиг.10А и 10В представляют собой схематические виды измерительной головки, имеющей альтернативную конфигурацию, в которой приемник ориентирован по отношению к передатчику так, чтобы принимать свет, испускаемый передатчиком, после его отражения от плоского зеркала, согласно другому варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

10 Фиг.11А и 11В представляют собой схематические виды измерительной головки, имеющей искривленное зеркало, согласно другому варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

15 Фиг.12 показывает схематическую иллюстрацию оптического датчика температуры, включающего в себя анализатор интенсивности света, который может включать в себя рассчитывающие температуру компоненты, которые могут пересчитывать изменения интенсивности света в изменения температуры термочувствительного элемента согласно варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

20 Фиг.13 представляет собой принципиальную схему электронного устройства, присоединяемого к измерительной головке оптического датчика температуры, согласно варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

25 Фиг.14 представляет собой принципиальную схему электронного устройства, присоединяемого к измерительной головке оптического датчика температуры, согласно другому варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

30 Фиг.15, 16 и 17 представляют собой схематические виды с разных направлений интегрированного компактного датчика для измерения температуры согласно другому варианту осуществления рассмотренной в данном описании системы.

### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

35 Упомянув в данный момент чертежи, они составляют часть данного описания и представляют иллюстративные варианты осуществления рассматриваемой системы. Следует понимать, что в некоторых случаях различные составляющие системы могут быть показаны схематически или могут быть преувеличены или изменены, чтобы облегчить понимание системы.

40 Фиг.1 представляет собой схематическую иллюстрацию варианта осуществления оптического датчика 10 температуры согласно рассмотренной в данном описании системе. Оптические волокна 20, 30 расположены в трубке 40, которая присоединена к измерительной головке 100 волоконно-оптического датчика температуры. Трубка 40 может быть непрозрачной. Одно оптическое волокно 20 выступает в роли излучателя света или передатчика и соединено с источником 22 света. Другое оптическое волокно 30 выступает в роли приемника света и соединено с блоком 32 обнаружения, таким как фотометр. Измерительная головка 100 волоконно-оптического датчика температуры прикрепляется к объекту, температуру которого требуется определить. В качестве альтернативы, в других вариантах осуществления возможно, чтобы единственное оптическое волокно выступало в роли и передатчика, и приемника. Хотя на фигурах указаны оптические волокна, предполагается, что в рассматриваемой в данном описании системе возможно использование других передатчиков и приемников света. Например, конфигурация системы может быть такой, что передатчик света системы представляет собой непосредственно источник света, установленный в измерительной головке 100 без промежуточного оптического

волокна.

Фиг.2 и 3 представляют собой по-разному ориентированные виды варианта осуществления измерительной головки 100 оптического датчика 10 температуры согласно рассматриваемой в данном описании системе. Оси координат, обозначенные 5 «X», «Y» и «Z», поясняют относительную ориентацию фиг.2 и 3 (и других фигур). Измерительная головка 100 содержит участки оптических волокон 20, 30, которые могут быть соединены друг с другом и жестко вмонтированы в измерительную 10 головку 100. Концы волокон 20, 30 могут быть обращены к отражающей мишени, такой как зеркало 110. Волокна 20, 30 могут быть жестко прикреплены к зеркалу 110 так, чтобы в случае вибраций и/или других движений волокна 20, 30 и зеркало 110 двигались все вместе. В показанном варианте осуществления измерительная 15 головка 100 имеет пропорции куба, что позволяет располагать измерительную головку 100 в ряде положений так, чтобы она плотно прилегала к поверхности объекта, температура которого должна быть измерена. В других вариантах осуществления измерительная головка может иметь, по меньшей мере, одну плоскую 20 грань, которая контактирует с объектом, и/или, по меньшей мере, одну поверхность, которая по существу совпадает по форме или некоторым образом может быть физически приблизительно совмещена с объектом. Измерительная головка может 25 содержать любую форму с маркерами на ней для индикации правильного расположения измерительной головки на объекте. Измерительная головка может иметь размеры, желательные согласно условиям ее применения.

Свет с заданной интенсивностью света проходит от источника 22 света через 30 волокно 20 и попадает на первую отражающую поверхность 112 зеркала 110 вдоль пути 101 света. Первая отражающая поверхность зеркала 110 может образовывать угол, приблизительно равный  $45^\circ$ , с путем 101 света для падающего света. Падающий свет может затем быть отражен под углом, приблизительно равным  $90^\circ$ , по пути 102 35 света на вторую отражающую поверхность 114 зеркала 110, которая образует приблизительно  $90^\circ$ -градусную ортогональную плоскость с первой отражающей поверхностью 112 зеркала 110. Как обсуждается ниже, элемент с заданными тепловыми характеристиками может быть расположен так, чтобы преграждать путь и/или препятствовать прохождению, по меньшей мере, части света, 40 распространяющегося по пути 102 света, в зависимости от температуры. Свет, падающий на вторую отражающую поверхность 114 зеркала 110, снова отражается по пути 103 света, становясь параллельным первоначальному падающему свету и ориентированным в противоположном направлении по отношению к 45 первоначальному падающему свету. Конец второго волокна 30 может быть расположен так, чтобы принимать свет, отраженный от второй отражающей поверхности 114 по пути 103 света, и может быть измерена разность между интенсивностью света для падающего света, подводимого по волокну 20, и 50 интенсивностью света для отраженного света, принимаемого волокном 30. Эта разность может быть определена с помощью детектора 32, который может представлять собой фотометр, фотоэлемент или другое устройство, измеряющее интенсивность света. Детектор может быть соединен с оборудованием для пересчета световых величин в температурные, как подробнее рассматривается в другом месте данного описания. Фотометр и оборудование для пересчета световых величин в температурные могут быть частью фотоэлектрического температурного преобразователя. Следует отметить, что могут быть использованы углы, отличающиеся от приведенных здесь.

Термочувствительный элемент 50, такой как жесткая полоска, изготовленная из непроводящего материала, обладающего известным коэффициентом теплового расширения, может быть расположен в измерительной головке 100 на закрепленном держателе 60, который может включать в себя основание и направляющие и/или другие удерживающие компоненты, таким образом, чтобы конец 52 термочувствительного элемента 50 частично перекрывал свет, отраженный от первой отражающей поверхности 112 зеркала 110, на пути 102 света. В представленном варианте осуществления частичное перекрывание света на пути 102 света происходит за счет растяжения или сжатия термочувствительного элемента 50 в направлении оси X в ответ на изменения температуры. В варианте осуществления, чем больше возрастает температура термочувствительного элемента 50, тем в большей степени этот термочувствительный элемент 50 препятствует падающему свету, отраженному от поверхности 112, на пути 102 света и тем сильнее падает интенсивность света, принятого волокном 30. В разных вариантах осуществления часть света, переменным образом перекрываемая термочувствительным элементом 50, может изменяться приблизительно прямо пропорционально изменению температуры, как квадрат изменения температуры и/или в некоторой другой зависимости от температуры. Таким образом, рассматриваемая система преобразует изменения температуры в изменения интенсивности света.

В варианте осуществления рассмотренной в данном описании системы, использование зеркала позволяет разместить оптические волокна параллельно вместо их расположения противоположно друг другу, так что излучающая свет аппаратура и аппаратура для анализа интенсивности света могут быть размещены с одной стороны датчика температуры без необходимости доступа с двух противоположных сторон устройства или той его части, для которой нужно измерить температуру.

Конструкция рассмотренной в данном описании системы имеет, по меньшей мере, следующие преимущества: она может быть очень малогабаритной, может быть изготовлена из непроводящих материалов и единственным видом движения в ней может быть тепловое расширение термочувствительного элемента 50. Для минимизации трения на боковых поверхностях термочувствительного элемента 50, термочувствительный элемент 50 может быть вытянутым с минимальными толщиной и шириной, и число точек контакта на его боковых поверхностях может быть ограничено минимальным числом направляющих 62, закрепленных на держателе 60. Консольная длина термочувствительного элемента 50 вблизи конца 52 вне охвата держателя 60 также может быть минимизирована, чтобы устранить влияние вибраций на конец 52.

Преимущества рассмотренной в данном описании системы обеспечиваются тем, что она включает в себя излучающее свет оптическое волокно и принимающее свет оптическое волокно и основана на измерении изменения интенсивности света, принятого приемным оптическим волокном, после того как свет, испущенный излучающим оптическим волокном, переменным образом перекрывается непрозрачным (или полупрозрачным) объектом, расположенным на пути света между излучающим и принимающим волокнами, размер которого изменяется с изменением температуры. Преимуществом такой системы является отсутствие необходимости в металлических или проводящих компонентах, что позволяет использовать такие температурные датчики в электромагнитном и электрическом оборудовании, таком как электрические машины или устройства. Кроме того, другим преимуществом является то, что могут измеряться только изменения интенсивности света, что

позволяет использовать более простое и менее дорогостоящее оборудование для анализа света, по сравнению, например, с оборудованием для анализа интерференционных картин, анализа Фабри-Перо и/или анализа оптических изображений. Например, преобразование интенсивности света в температуру согласно системе, рассматриваемой в данном описании, может производиться простым фотоэлементом, расположенным на противоположном конце принимающего волокна.

Фиг.4 представляет собой схематическую иллюстрацию зеркала с двумя поверхностями, входящего в состав измерительной головки, наблюдаемого по направлению падающего света, согласно рассмотренной в данном описании системе. Свет попадает на первую отражающую поверхность 112 зеркала 110, формируя светящееся пятно 101а, которое может быть круговым в случае цилиндрической проекции света из волокна 20. Волокно 20 и зеркало 110 могут быть расположены таким образом, чтобы падающий свет создавал светящееся пятно 101а, которое затем отражается на вторую отражающую поверхность 114 зеркала 110. Часть света, направляющегося ко второй отражающей поверхности 114, перекрывается вследствие движения термочувствительного элемента 50 в направлении оси X, в то время как другая часть этого света отражается в виде светящегося пятна 102а на волокно 30. Термин «часть», в используемом здесь контексте, может относиться к одной или большему количеству площадок или подгрупп, которые, в случае количества площадок или подгрупп, большего единицы, могут быть соединены друг с другом или отделены друг от друга.

В варианте осуществления разность между интенсивностью света для падающего света, подводимого по волокну 20 от источника 22 света, и интенсивностью света для отраженного света, принимаемого волокном 30, является следствием увеличения или уменьшения размера светящегося пятна 102а, которое отражается от поверхности 114 и принимается оптическим волокном 30. Первое количество света на пути 102 света перекрывается или/и иным способом задерживается термочувствительным элементом 50, в то время как второе количество света передается по пути 102 света как светящееся пятно 102а. Первое количество может быть обратно пропорционально второму количеству, так что когда первое количество увеличивается, второе количество уменьшается и наоборот. Сумма первого и второго количества может быть по существу постоянной величиной. В некоторых случаях первое количество или второе количество может быть равно нулю.

Фиг.5, иллюстрирующая другой вариант осуществления рассматриваемой в данном описании системы, показывает волоконно-оптический датчик 10' температуры, в котором третье оптическое волокно 70 может быть расположено в трубке и присоединено к измерительной головке 100' волоконно-оптического датчика температуры. Оптическое волокно 70 может быть опорным оптическим волокном, которое расположено рядом или поблизости от приемного оптического волокна 30 и соединено с опорным блоком 72 обнаружения, таким как фотометр, который может иметь тот же тип, что и фотометр, являющийся блоком 32 обнаружения. Как дополнительно обсуждается в другом месте данного описания, опорное оптическое волокно 70 может дать возможность проведения в любой момент повторной калибровки измерений интенсивности света, выполняемых детектором 32 с течением времени.

Фиг.6 иллюстрирует расположение опорного оптического волокна 70 в измерительной головке 100', при котором опорное оптическое волокно 70 размещено рядом с приемным оптическим волокном 30. Опорное оптическое волокно 70 может

быть размещено так, чтобы термочувствительный элемент 50 независимо от температуры не препятствовал прохождению света, принимаемого контрольным оптическим волокном 70. Конструкция, использующая опорное оптическое волокно 70, позволяет преобразователю световых величин в температурные вносить поправки в измерения посредством доступной в любой момент повторной калибровки измерений интенсивности света, выполняемых соединенным с волокном 30 фотометром 32 с течением времени, принимая во внимание дрейфы чувствительности к свету вследствие старения фотометра, изменений окружающей температуры, температурных изменений в электронных схемах, соединенных с волокнами 20 и 30, и/или дрейф интенсивности света вследствие старения волоконной оптики и/или старения излучателя света, так как такие дрейфы отслеживаются опорным волокном 70.

Фиг.7 представляет собой схематическую иллюстрацию, показывающую другой вариант осуществления измерительной головки 200 системы, рассматриваемой в данном описании, в котором свет, испускаемый передающим оптическим волокном 220, напрямую принимается принимающим оптическим волокном 230 без промежуточного зеркала. Один конец каждого из двух оптических волокон 220, 230 может быть обращен к концу другого волокна через небольшой промежуток 254. Как подробнее обсуждается в другом месте данного описания, волокно 220 может быть соединено с источником 222 света и волокно 230 может передавать принятый свет на детектор 232 и/или блок анализатора интенсивности света для проведения анализа интенсивности света и анализа температуры, как подробнее описывается в другом месте данного описания. Детектор 232 может быть простым фотометром, который преобразует интенсивность света в электрический ток и электричество в температуру. В этом случае зависимость между изменением интенсивности света и изменением температуры может быть приблизительно линейной, как объясняется в другом месте данного описания. По меньшей мере, одно из волокон 220, 230 (например, волокно 220, как показано) может быть соответствующим образом искривлено так, чтобы его конец был обращен к концу другого волокна.

Термочувствительный элемент 250, такой как жесткая полоска, выполненная из непроводящего материала, обладающего заданным коэффициентом теплового расширения, прикреплен одним концом 252 к закрепленному держателю 260, в то время как другой его конец проникает внутрь промежутка 254 в соответствии с тепловым расширением термочувствительного элемента 250. При изменении длины термочувствительного элемента 250 элемент 250 расширяется, входя в промежуток 254, или сокращается, выходя из промежутка 254, в соответствии с изменением температуры элемента 250, которое вызывает соответствующее увеличение или уменьшение элемента 250. Например, термочувствительный элемент 250 может создавать препятствие падающему свету, выходящему из конца волокна 220, так, что чем больше повышается температура, тем сильнее снижается интенсивность света, принимаемого волокном 230. Таким образом, описанная система преобразует изменения температуры в изменения интенсивности света. Также возможно включить в этот вариант осуществления опорное оптическое волокно, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания.

Фиг.8 представляет собой схематическую иллюстрацию другого варианта осуществления измерительной головки 300 согласно системе, представленной в данном описании, показывающего перекрытие падающего света термочувствительным элементом 350, расположенным в поперечном направлении к

оптическим волокнам 320, 330. Как показано на фиг.8, зеркало 310 может иметь две поверхности 312, 314, расположенные под углом  $90^\circ$  друг к другу, и термочувствительный элемент 350 может быть расположен в поперечном направлении к волокнам 320, 330. Также возможно включить в этот вариант осуществления опорное оптическое волокно, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания.

Фиг.9 представляет собой схематическую иллюстрацию другого варианта осуществления измерительной головки 400 согласно системе, представленной в данном описании, показывающего другую конфигурацию оптических волокон 420, 430, 470 и термочувствительного элемента 450. Термочувствительный элемент 450 опирается по касательной на отражающую поверхность 414 зеркала 410, и конец 452 элемента 450 перекрывает свет на пути 402 света, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания. Как показано в проиллюстрированном на фиг.9 варианте осуществления, волокно 470 представляет собой опорное волокно, расположенное между подводящим свет оптическим волокном 420 и принимающим свет оптическим волокном 430 в соответствии с функцией опорного волокна 470 беспрепятственно принимать свет независимо от перемещений термочувствительного элемента 450 в ответ на изменения температуры. Эта конструкция может быть предпочтительной для оборудования, подверженного механическим вибрациям, так как в ней минимизировано влияние консольного закрепления на термочувствительный элемент 450.

Другой интересной особенностью использования  $90^\circ$ -градусного зеркала 410 с двумя поверхностями, которая очевидна из фиг.9, является то, что если конец волокна 420 круглый, то сечение пучка света, отраженного по пути 402 между поверхностью 412 и поверхностью 414 зеркала 410, будет овальным. Соответствующим ограничением размеров поверхности 412 зеркала часть света, отраженная вдоль пути 402 света, может быть усечена до квадрата или прямоугольника, что дает преимущество более линейного изменения света при расширении или сокращении термочувствительного элемента 450, по сравнению со случаем овального сечения.

Могут быть использованы другие конфигурации измерительной головки, согласно представленной в данном описании системе.

Фиг.10А и 10В представляют собой схематические виды измерительной головки 500, имеющей альтернативную конфигурацию, в которой приемник 530 ориентирован по отношению к передатчику 520 так, чтобы принимать свет, испущенный передатчиком 520, после его отражения от плоского зеркала 540 согласно другому варианту осуществления представленной в данном описании системы. На фиг.10А измерительная головка 500 показана в одной проекции, и на фиг.10В измерительная головка 500 показана в другой проекции, перпендикулярной показанной на фиг.10А. Плоское зеркало 540 может быть единой деталью, не содержащей угла. Передатчик 520 ориентирован с наклоном по направлению к приемнику 530 так, что свет, испущенный передатчиком 520, отражается один раз от зеркала 540 и этот отраженный свет принимается приемником 530. Термочувствительный элемент 550 расположен так, чтобы преграждать путь или препятствовать прохождению, по меньшей мере, части света, принимаемого приемником 530, как подробнее описано в другом месте данного описания. Термочувствительный элемент 550 показан расположенным между зеркалом 540 и приемником 530, однако в других вариантах осуществления термочувствительный элемент 550 может быть расположен между передатчиком 520 и зеркалом 540, и/или между передатчиком 520 и приемником 530,

и/или в любой комбинации конфигураций, описанных здесь. В другом варианте осуществления передатчик 520 и приемник 530 могут быть расположены рядом друг с другом, то есть касаясь друг друга, что уменьшит угол, под которым они должны сближаться.

5 Фиг.11А и 11В представляют собой схематические виды измерительной головки 600, имеющей искривленное зеркало 640, согласно другому варианту осуществления представленной в данном описании системы. На фиг.11А измерительная головка 600 показана в одной проекции, и на фиг.11В измерительная головка 600 показана в 10 другой проекции, перпендикулярной показанной на фиг.11А. Передатчик 620 может быть расположен параллельно приемнику 630. Свет, испускаемый передатчиком 620, отражается от искривленного зеркала 640 на приемник 630. Как показано, искривленное зеркало 640 может иметь вогнутую форму по отношению к 15 передатчику 620 и приемнику 630. Возможны другие виды искривления зеркала 640. Термочувствительный элемент 650 расположен так, чтобы преграждать путь или препятствовать прохождению, по меньшей мере, части света, принимаемого приемником 630, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания. Термочувствительный элемент 650 показан расположенным между зеркалом 640 и 20 приемником 630, однако в других вариантах осуществления термочувствительный элемент 650 может быть расположен между передатчиком 620 и зеркалом 640, и/или между передатчиком 620 и приемником 630, и/или в любой комбинации конфигураций, описанных здесь.

В других вариантах осуществления одна или большее количество изменяющих геометрию света линз могут быть расположены между передатчиком 620 и 25 искривленным зеркалом 640 и/или между приемником 630 и искривленным зеркалом 640 для того, чтобы изменять геометрию света, падающего на зеркало 640, и/или геометрию отраженного света, принимаемого приемником 630, и 30 использоваться совместно с термочувствительным элементом 650. Например, линзы могут преобразовать падающий пучок света кругового сечения в пучок света, имеющий сечение вытянутой геометрии, такой как плоский прямоугольник. Таким образом, количество света, принятого приемником, может изменяться в соответствии с перемещением термочувствительного элемента 650 и в связи с преобразованной 35 линзами формой пучка света.

Фиг.12 представляет схематическую иллюстрацию оптического датчика 10' температуры, имеющего компоненты, подобные рассмотренным подробнее в другом месте данного описания, и дополнительно иллюстрирует анализатор 80 интенсивности 40 света, который может включать в себя компоненты для расчета температуры, которые могут пересчитывать изменения интенсивности света в изменения температуры термочувствительного элемента 50. Анализатор 80 интенсивности света может включать в себя схему аналого-цифрового преобразователя, и/или соответствующую вычислительную схему (например, стандартное устройство для 45 обработки данных, такое как ПК), и/или схему устройства вывода (например, дисплей или соответствующую схему, выдающую цифровой или аналоговый сигнал, несущий информацию об изменении температуры).

Анализатор 80 интенсивности света может быть автономным измерительным 50 прибором и/или блоком другого анализатора, который соединен с детектором 32 и/или источником 22 света для того, чтобы анализировать разность между светом, подводимым от источника 22 света, и светом, принятым детектором 32, и определять изменение температуры термочувствительного элемента 50 (и, соответственно,

объекта, к которому прикреплен или иным способом присоединен оптический датчик температуры), основываясь на изменении интенсивности света. В качестве альтернативы, анализатор 80 интенсивности света может являться частью детектора 32, например, как процессорный компонент в его составе. Анализатор 80 интенсивности света может быть использован совместно с любым из датчиков, рассмотренных в данном описании.

В различных вариантах осуществления датчик может быть изготовлен без использования металлических или электропроводящих частей, чтобы сделать возможным функционирование в условиях присутствия электрического или электромагнитного поля. Например, для передатчика и приемника может быть использован неэлектропроводящий волоконно-оптический материал, для термочувствительного элемента может быть использован неэлектропроводящий материал, имеющий известный коэффициент теплового расширения, как подробнее обсуждается в данном описании, и для остальных компонентов могут быть использованы различные керамические материалы, которые могут быть выбраны в зависимости от конкретных критериев для каждого применения. Например, могут быть выбраны материалы, пригодные для работы при низких температурах, работы при комнатной температуре и/или работы при высоких температурах, или выбраны материалы, пригодные для меняющегося диапазона температур. В частности, например, наружный корпус измерительной головки и непрозрачная трубка, в которой располагаются передатчик и приемник, могут состоять из коммерчески доступной керамики. В варианте осуществления, представленном в данном описании, в качестве керамического материала может быть использована поддающаяся машинной обработке стеклокерамика Macor®, поставляемая Corning Incorporated of Corning, NY, хотя могут быть использованы и любые другие подходящие материалы, такие как другие поддающиеся машинной обработке стеклокерамические материалы.

В различных вариантах осуществления, практическая реализация рассматриваемой в данном описании системы, использующей описанный простой принцип перекрывания света, может включать различные конструктивные решения для материалов и конфигураций, в том числе учет того, что должны быть выбраны неэлектропроводящие, но теплопроводящие материалы, габаритные размеры должны быть минимизированы, надежность, в частности вибростойкость, должна быть максимизирована и должно быть использовано простое и недорогое оборудование для анализа интенсивности света и расчета температуры, как подробнее обсуждается ниже.

Материал, из которого состоит термочувствительный элемент, может быть неэлектропроводящим, но жестким и иметь достаточно высокий коэффициент теплового расширения для того, чтобы длина термочувствительного элемента в достаточной степени изменялась с температурой. Для варианта осуществления, подходящим материалом может быть армированный стеклянным микроволокном Teflon®, такой как слоистый пластик RT/duroid® 5880 PTFE, поставляемый Rogers Corporation, который имеет коэффициент теплового расширения 18,7 мм/м в, по меньшей мере, одном направлении. Следует отметить, что материалы могут иметь разные коэффициенты теплового расширения в разных направлениях, таких как длина, ширина, высота, и система, представленная в данном описании, может быть сконструирована с термочувствительным элементом из материала, выбранного по свойствам его теплового расширения в одном или большем числе направлений.



Измерительная головка, содержащая в себе описанную здесь систему, может быть герметизирована от пыли, света и паров и изготовлена из неэлектропроводящего материала, который позволяет температуре термочувствительного элемента быстро принимать значение температуры, которую надо измерить. Было найдено, что для варианта осуществления подходящим материалом является FR4, поставляемый Rogers Corporation.

Размеры датчика в целом могут быть минимизированы. В варианте осуществления, обращаясь, например, к датчику 10', оптические волокна 20, 30, 70 могут иметь диаметр приблизительно четыреста двадцать микрон (исключая внешнюю непрозрачную оболочку), каждая поверхность 112, 114 зеркала 110 может иметь размеры всего лишь приблизительно девятьсот двадцать микрон в высоту, приблизительно пятьсот микрон в толщину и приблизительно четыре миллиметра в длину, с диэлектрическим отражающим покрытием с 98%-ным отражением при 45-градусном падении для длин волн в диапазоне от восьмисот до восьмисот семидесяти нанометров, поставляемым Unaxis Optics. Термочувствительный элемент 50 может представлять собой полосу, имеющую длину приблизительно 2 см для измерения температур выше приблизительно минус 40°C и ниже приблизительно 200°C, ширину приблизительно двести пятьдесят микрон и толщину приблизительно семьсот пятьдесят микрон. Источник 22 света может быть любым подходящим источником света, способным обеспечить функциональные возможности, приведенные в данном описании, включая, в том числе, светодиоды и лазерные диоды, например светоизлучающий диод, поставляемый Dialight PLC, Великобритания.

Эксплуатационные характеристики системы, представленной в данном описании, могут позволить измерять температуру в диапазоне от -40°C до 200°C с точностью плюс-минус 2°C, что соответствует изменению интенсивности света, вследствие смещения термочувствительного элемента на приблизительно триста микрон. В результате измерительная головка 100 может иметь размеры приблизительно 3 см × 1 см × 2 мм.

Фиг.13 представляет собой принципиальную схему электронного устройства 700, присоединяемого к измерительной головке 100 оптического датчика 10 температуры согласно варианту осуществления системы, представленной в данном описании.

Конструкция и компоненты измерительной головки 100 описаны в другом месте данного описания. Как подробно обсуждается ниже, электронное устройство 700 может управлять количеством света, излучаемого на находящуюся внутри измерительной головки 100 мишень, по существу не зависящим от температуры и/или изменения температуры измерительной головки 100, например, посредством регулирования интенсивности света, излучаемого на мишень. Электронное устройство 700 может быть соединено с измерительной головкой 100 с помощью пары оптических волокон 720, 730, помещенных в трубку, подобную трубке 40, описанной выше. Волокно 720 может представлять собой передающий свет волоконно-оптический кабель, и волокно 730 может представлять собой принимающий свет волоконно-оптический кабель, хотя могут быть использованы любые другие передатчики и/или приемники света. Источник 722 света обеспечивает свет, который передается по волокну 720 к измерительной головке 100. С источником 722 света может быть соединена схема 710 управления источником 722 света, управляющая светом, излучаемым источником 722 с использованием контура обратной связи через фильтр нижних частот, как подробнее обсуждается в данном описании. Волокно 730 передает принятый свет от измерительной головки 100 к измерительному блоку,

такому как фотоэлемент 732.

Как показано на фиг.13, выход измерительного фотоэлемента 732 может быть соединен с усилителем 740, который может играть роль высокоимпедансной буферной  
5 по отдельности с полосовым фильтром 742 и с фильтром 750 нижних частот, как  
подробнее обсуждается в данном описании. Полосовой фильтр 742 может быть  
skonфигурирован так, чтобы устранять сигналы, не представляющие интереса,  
например дрейфы напряжения в низкочастотном диапазоне и высокочастотные  
10 сигналы, не связанные с изменением температуры. Понятно, что другие фильтры и их  
комбинации, включая фильтры нижних частот и фильтры верхних частот, могут быть  
использованы по мере необходимости. Выход полосового фильтра 742 может быть  
присоединен к выходному преобразователю 744, который может выдавать выходной  
15 сигнал электронного устройства 700. Как подробнее обсуждается в другом месте  
данного описания, выходной преобразователь 744 может включать в себя анализатор,  
который проводит анализ сигнала для определения изменения температуры или/и  
других измеренных характеристик объекта, являющегося предметом измерения.  
Сигнал, выдаваемый выходным преобразователем 744, может передаваться на  
20 дисплей для визуализации меры изменения температуры объекта. В качестве  
альтернативы, сигнал, выдаваемый выходным преобразователем 744, может  
передаваться на устройство обработки данных, анализатор и/или другую систему,  
использующую этот выходной сигнал.

В контуре обратной связи системы выход фильтра 750 нижних частот может быть  
25 соединен с усилителем 752, который может играть роль высокоимпедансной буферной  
схемы для входного сигнала напряжения. Фильтр 750 нижних частот может быть  
использован для получения среднего значения сигнала, используемого как опорный  
сигнал для обратной связи со схемой 710 управления источником света. За счет  
30 пропускания входного сигнала через фильтр 750 нижних частот уменьшается  
воздействие на опорный сигнал перемещений, вызываемых вибрациями. Выходной  
сигнал усилителя 752 может быть подан на один из входов дифференциального  
усилителя 756. Другой вход дифференциального усилителя 756 может быть  
присоединен к выходу усилителя 754, вход которого соединен с источником 712  
35 опорного напряжения. Усилитель 754 может играть роль высокоимпедансной  
буферной схемы для входных сигналов напряжения. Дифференциальный усилитель 756  
выдает на выходе разность между сигналами на его входах. Выходной сигнал  
дифференциального усилителя 756 может быть подан на схему 710 управления  
40 источником света для того, чтобы управлять интенсивностью света, излучаемого  
источником 722 света.

Система, рассматриваемая в данном описании, может быть прокалибрована для  
учета несоответствий или различий отрезков волокон, чувствительности  
фотоэлемента, ослабления в волокне и т.д. В дополнение к калибровке, обратная связь  
45 может компенсировать изменения характеристик волокна, источника света,  
фотоэлемента и т.п., вызванные старением или манипуляциями.

Фиг.14 представляет собой принципиальную схему электронного устройства 800,  
присоединяемого к измерительной головке 100' оптического датчика 10' температуры  
50 согласно другому варианту осуществления представленной в данном описании  
системы. Конструкция и компоненты измерительной головки 100' описаны в другом  
месте данного описания. Как показано, измерительная головка 100' может быть  
электрически соединена с электронным устройством 800 с помощью опорного

оптического волокна 870, передающего свет оптического волокна 820 и принимающего свет оптического волокна 830. Как подробно обсуждается ниже, электронное устройство 800 может регулировать количество света, излучаемого на находящуюся внутри измерительной головки 100' мишень, по существу не зависящее от изменения температуры внутри измерительной головки 100'. Измерительная головка 100' может быть подобной измерительной головке 100, описанной выше в связи с электронным устройством 700, с добавлением опорного волокна 870 и, возможно, другими отличиями, указанными здесь. Как подробнее обсуждается в другом месте данного описания, опорное оптическое волокно 870 может быть расположено в измерительной головке 100' так, чтобы принимать свет, испускаемый передающим свет волокном 820 и/или некоторым другим источником света, причем количество света на выходе опорного оптического волокна 870 по существу не зависит от изменения температуры внутри измерительной головки 100'.

Источник 822 света может обеспечивать свет, который передается по волокну 820 к измерительной головке 100'. С источником 822 света может быть соединена схема 810 управления источником света, которая может использовать опорный сигнал для управления светом, излучаемым источником 822, как подробнее обсуждается в данном описании. Волокно 830 передает принятый свет от измерительной головки 100' к измерительному блоку, такому как измерительный фотоэлемент 832. Волокно 870 передает принятый свет от измерительной головки 100' к опорному блоку, такому как контрольный фотоэлемент 850. Следует отметить, что вместо волокон 820, 830, 870 возможно использовать любые подходящие передатчики света и/или приемники света.

Выход опорного фотоэлемента 850 может быть соединен с усилителем 852, который может играть роль высокоимпедансной буферной схемы для входного сигнала напряжения. Выходной сигнал усилителя 852 может быть подан на один из входов дифференциального усилителя 856. Другой вход дифференциального усилителя 856 может быть соединен с выходом усилителя 854, причем к входу усилителя 854 присоединен источник 812 опорного напряжения. Усилитель 854 может играть роль высокоимпедансной буферной схемы для входного сигнала напряжения.

Дифференциальный усилитель 856 выдает на выходе разность между сигналами на его входах. Выходной сигнал дифференциального усилителя 856 может быть подан на схему 810 управления источником света, которая использует выходной сигнал дифференциального усилителя 856 для того, чтобы управлять интенсивностью света, излучаемого источником 822 света. В представленной в данном описании системе могут быть использованы и другие известные схемные решения, например, в другом варианте осуществления (не показан) выходной сигнал опорного фотоэлемента 850 может подаваться на фильтр нижних частот, который может использоваться для получения среднего значения опорного сигнала и уменьшения таким образом воздействия на опорный сигнал нежелательных высокочастотных сигналов.

Как показано на фиг.14, выход измерительного фотоэлемента 832 может быть соединен с усилителем 840, который может играть роль высокоимпедансной буферной схемы для входного сигнала напряжения. Выход усилителя 840 может быть соединен с фильтром 842 нижних частот. Фильтр 842 нижних частот может быть сконфигурирован так, чтобы устранять сигналы, не представляющие интереса, например очень высокочастотные сигналы, не связанные с изменением температуры. Понятно, что другие фильтры и их комбинации, включая полосовые фильтры и фильтры верхних частот, могут быть использованы по мере необходимости. Выход фильтра 842 нижних частот может быть присоединен к выходному

преобразователю 844, который может формировать выходной сигнал электронного устройства 800. Как подробнее обсуждается в другом месте данного описания, выходной преобразователь 844 может включать в себя анализатор, который проводит анализ сигнала для определения измеряемых характеристик объекта, являющегося предметом измерения. Сигнал, выдаваемый выходным преобразователем 844, может передаваться на дисплей для визуализации температуры. В качестве альтернативы, сигнал, выдаваемый выходным преобразователем 844, может передаваться на устройство обработки данных, анализатор и/или другую систему, использующую этот выходной сигнал.

Следует отметить, что каждое из электронных устройств 700, 800, описанных выше, может включать в себя источник 22 света, детектор 32, опорный детектор 72 и/или анализатор 80 интенсивности света, рассмотренные в другом месте данного описания. Кроме того, в различных вариантах осуществления материалы, выбранные для изготовления системы, представленной в данном описании, могут иметь механические свойства, специально подобранные для того, чтобы уменьшить деформации, которые могут приводить к погрешностям измерений. Например, выбранные для изготовления материалы могут иметь среди прочих свойств, обсуждаемых в другом месте данного описания, высокую прочность на сжатие, высокую прочность на изгиб, высокую температуру длительной эксплуатации и высокую диэлектрическую проницаемость. Опорные волокна, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания, могут также быть использованы с любым из описанных выше типов датчиков. Далее, электронные устройства 700, 800, рассмотренные в данном описании, могут использоваться совместно с любым из описанных выше типов датчиков.

Фиг.15, 16 и 17 представляют собой схематические виды с разных направлений интегрированного компактного датчика 900 для измерения температуры согласно другому варианту осуществления представленной в данном описании системы. Компактный датчик 900 может включать в себя среди других компонентов передатчик 920 и приемник 930, подобные передатчику 20 и приемнику 30, обсуждавшимся в другом месте данного описания, термочувствительный элемент 950, подобный термочувствительному элементу 50, обсуждавшемуся в другом месте данного описания, и электронное устройство 980 для анализа принятых сигналов, подобное электронному устройству 700, обсуждавшемуся в другом месте данного описания. Как показано в проиллюстрированном варианте осуществления, упомянутые выше компоненты могут быть все интегрированы в единый корпус 904 датчика 900. Электронное устройство 980 может быть расположено на печатной плате, встроенной в датчик 900, и быть защищено от электромагнитного излучения. Свет из передатчика 920 может быть сконцентрирован концентратором 922 света, и/или свет, принимаемый приемником 930, может быть сконцентрирован концентратором 932 света. Передатчик 920 света и приемник 930 света могут находиться целиком внутри корпуса 904. Следует отметить, что проиллюстрированная конструкция обеспечивает то преимущество, что отсутствует необходимость в оптических волокнах; однако оптические волокна могут быть использованы для передатчика 920 света и/или приемника 930 света в соответствии с иллюстрируемым вариантом осуществления. Свет из передатчика 920 может попадать на зеркало 940 и отражаться на приемник 930, и часть этого света может перекрываться или по-другому задерживаться термочувствительным элементом 950 в зависимости от изменений температуры, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания. Возникающее в результате этого изменение интенсивности света может

анализироваться электронным устройством 980, как подробнее обсуждается в другом месте данного описания.

5 Передачик 920 света, концентратор 922 света, приемник 930 света и концентратор 932 света могут быть прикреплены к корпусу 904 или иным способом поддерживаться конструкционной опорой 905. Термочувствительный элемент 950 может быть прикреплен к корпусу 904 или иным способом поддерживаться конструкционной опорой 915. Датчик 900 показан с соединительным устройством 902 для цифрового соединения датчика с компьютером, компьютерной сетью или другим устройством, которое принимает выходной сигнал датчика 900 и которое может включать в себя дисплей для визуализации результатов. Также следует отметить, что в 10 представленный вариант осуществления может быть включено одно или большее количество опорных оптических волокон и в этом случае, по меньшей мере, часть электрической схемы электронного устройства 980 может быть подобной 15 электронному устройству 800, которое обсуждается в данном описании.

Другие варианты осуществления изобретения могут быть очевидны специалистам в данной области техники при рассмотрении описания и практическом осуществлении изобретения, раскрытого в данном описании. Предполагается, что данное описание и 20 примеры рассматриваются только как иллюстративные, причем действительный объем и суть изобретения представлены нижеследующей формулой изобретения.

#### Формула изобретения

- 25 1. Датчик температуры, содержащий:
  - передатчик, который испускает свет;
  - первый приемник, расположенный так, чтобы принимать свет, испущенный из передатчика; и
  - термочувствительный элемент, расположенный так, чтобы препятствовать свету, 30 переданному по пути света между передатчиком и первым приемником, причем термочувствительный элемент переменным образом препятствует, по меньшей мере, части света, испускаемого передатчиком, чтобы изменять интенсивность света, принятого первым приемником, причем интенсивность света, принятого первым приемником, изменяется в соответствии с изменением размера термочувствительного 35 элемента, который изменяется в ответ на изменение температуры термочувствительного элемента; и
  - электронное устройство, присоединенное к передатчику и первому приемнику, которое включает в себя управляющую схему, управляющую интенсивностью света, 40 испускаемого передатчиком, на основании контура обратной связи и, используя опорный сигнал, причем электронное устройство включает в себя, по меньшей мере, один анализатор интенсивности света, который анализирует изменения интенсивности света, принятого первым приемником, и выдает на выходе, по меньшей мере, один сигнал.
- 45 2. Датчик температуры по п.1, в котором передатчик и первый приемник представляют собой оптические волокна.
3. Датчик температуры по п.1, в котором термочувствительный элемент является неэлектропроводящим.
- 50 4. Датчик температуры по п.1, в котором геометрия термочувствительного элемента изменяется, по существу, пропорционально изменению температуры.
5. Датчик температуры по п.1, в котором электронное устройство определяет изменение температуры термочувствительного

элемента на основании изменений интенсивности света, принятого первым приемником.

6. Датчик температуры по п.1, дополнительно содержащий:

5 второй приемник, расположенный рядом с первым приемником, причем второй приемник принимает часть света, испускаемого передатчиком, и причем часть света, принимаемая вторым приемником, по существу, не зависит от изменения температуры термочувствительного элемента.

7. Датчик температуры по п.6, дополнительно содержащий:

10 второй детектор, присоединенный ко второму приемнику, который используется для калибровки датчика.

8. Датчик температуры по п.7, в котором второй детектор позволяет проводить калибровку датчика, потребность в которой возникает из-за дрейфа, вызванного, по меньшей мере, одним из следующего: старение датчика, изменения окружающей температуры и изменение светопропускания передатчика или первого приемника.

9. Датчик температуры по п.1, в котором передатчик напрямую обращен к первому приемнику, причем путь света между передатчиком и первым приемником представляет собой промежуток между передатчиком и первым приемником.

20 10. Датчик температуры по п.1, дополнительно содержащий:

мишень, расположенную так, чтобы отражать падающий свет, принятый от передатчика, на первый приемник.

11. Датчик температуры по п.10, в котором мишень включает в себя зеркало с двумя поверхностями, у которого первая и вторая поверхности расположены под углом, приблизительно равным  $90^\circ$ , друг к другу, так что первая поверхность принимает от передатчика падающий свет под первым углом падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , и отражает падающий свет на вторую поверхность под вторым углом падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , и вторая поверхность отражает падающий свет, принятый от первой поверхности, на первый приемник.

12. Датчик температуры по п.10, в котором мишень включает в себя, по меньшей мере, одно из следующего: искривленное зеркало и плоское зеркало, причем в случае мишени в виде плоского зеркала передатчик располагается под углом по отношению к первому приемнику.

35 13. Способ измерения температуры, включающий в себя этапы, на которых: обеспечивают передатчик, который испускает свет;

обеспечивают первый приемник, который принимает свет, испущенный передатчиком;

40 обеспечивают, чтобы, по меньшей мере, части света, испущенного передатчиком, переменным образом препятствовал термочувствительный элемент, перед тем как этот свет будет принят первым приемником, причем так, чтобы эта часть света, которой переменным образом препятствуют, изменялась в соответствии с изменением размера термочувствительного элемента, который изменяется в ответ на изменение температуры;

управляют интенсивностью света, испущенного передатчиком, согласно контуру обратной связи и, используя опорный сигнал; и

50 анализируют изменения интенсивности света, принятого первым приемником, чтобы определить изменение температуры.

14. Способ по п.13, дополнительно включающий в себя этап, на котором:

обеспечивают, чтобы опорный сигнал принимался вторым приемником, причем так, чтобы опорный сигнал был, по существу, не зависящим от изменения

температуры.

15. Способ по п.13, дополнительно включающий в себя этап, на котором: обеспечивают мишень, которая принимает падающий свет от передатчика и отражает этот свет на первый приемник.

16. Датчик температуры, содержащий:

передающее оптическое волокно, которое испускает свет;

зеркало, которое отражает падающий свет, принятый от передающего оптического волокна;

принимающее оптическое волокно, расположенное так, чтобы принимать свет, отраженный от зеркала; и

термочувствительный элемент, расположенный так, чтобы препятствовать свету, переданному по пути света между передающим оптическим волокном и первым

принимающим оптическим волокном, причем термочувствительный элемент

переменным образом препятствует, по меньшей мере, части света, излучаемого

передатчиком, чтобы изменять интенсивность света, принятого в первом приемнике,

причем интенсивность света, принятого первым приемником, изменяется в

соответствии с изменением размера термочувствительного элемента, который

изменяется в ответ на изменение температуры термочувствительного элемента; и

электронное устройство, присоединенное к передающему оптическому волокну и принимающему оптическому волокну, которое включает в себя управляющую схему,

управляющую интенсивностью света, испускаемого передающим оптическим

волокну, на основании контура обратной связи и, используя опорный сигнал,

причем электронное устройство включает в себя, по меньшей мере, один анализатор

интенсивности света, который анализирует изменения интенсивности света, принятого

принимающим оптическим волокну, и выдает на выходе, по меньшей мере, один

сигнал.

17. Датчик температуры по п.16, в котором зеркало включает в себя зеркало с

двумя поверхностями, у которого первая и вторая поверхности расположены под

углом, приблизительно равным  $90^\circ$ , друг к другу, причем первая поверхность

принимает от передающего оптического волокна падающий свет под первым углом

падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , и отражает падающий свет на вторую

поверхность под вторым углом падения, приблизительно равным  $45^\circ$ , вторая

поверхность отражает падающий свет, принятый от первой поверхности, на

принимающее оптическое волокно.

18. Датчик температуры по п.17, в котором зеркало включает в себя, по меньшей

мере, одно из следующего: искривленное зеркало и одиночное плоское зеркало.

19. Датчик температуры по п.16, дополнительно содержащий:

опорное оптическое волокно, которое принимает часть света от передающего

оптического волокна, причем эта часть света, принимаемая опорным оптическим

волокну, по существу, не зависит от изменения температуры термочувствительного

элемента.

20. Способ измерения температуры, включающий в себя этапы, на которых:

обеспечивают передающее оптическое волокно, которое испускает свет;

обеспечивают зеркало, которое отражает свет, принятый от передающего

оптического волокна;

обеспечивают принимающее оптическое волокно, которое принимает свет,

отраженный от зеркала;

обеспечивают, чтобы, по меньшей мере, части света, испущенного передающим

оптическим волокном, переменным образом препятствовал термочувствительный элемент, перед тем как этот свет будет принят принимающим оптическим волокном, причем так, чтобы эта часть света, которой переменным образом препятствуют, изменялась в соответствии с изменением размера термочувствительного элемента, который изменяется в ответ на изменение температуры;

управляют интенсивностью света, испущенного передающим оптическим волокном, согласно контуру обратной связи и, используя опорный сигнал; и анализируют изменения интенсивности света, принятого принимающим оптическим волокном, чтобы определить изменение температуры.

21. Способ по п.20, дополнительно включающий в себя этап, на котором: обеспечивают опорное оптическое волокно, которое принимает часть света от передающего оптического волокна, причем эта часть света, принимаемая опорным оптическим волокном, по существу, не зависит от изменения температуры термочувствительного элемента.

22. Датчик температуры, содержащий:

корпус;

соединительный интерфейс, расположенный на корпусе;

передатчик, расположенный внутри корпуса, который испускает свет;

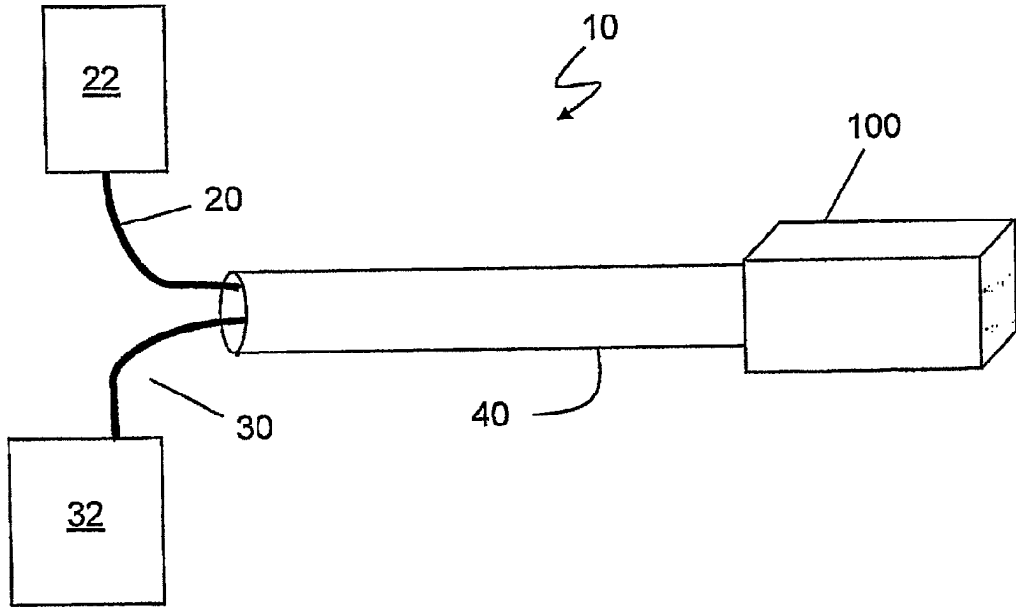
приемник, расположенный внутри корпуса, который принимает свет, испущенный передатчиком;

термочувствительный элемент, расположенный так, чтобы препятствовать свету, переданному по пути света между передатчиком и приемником, причем

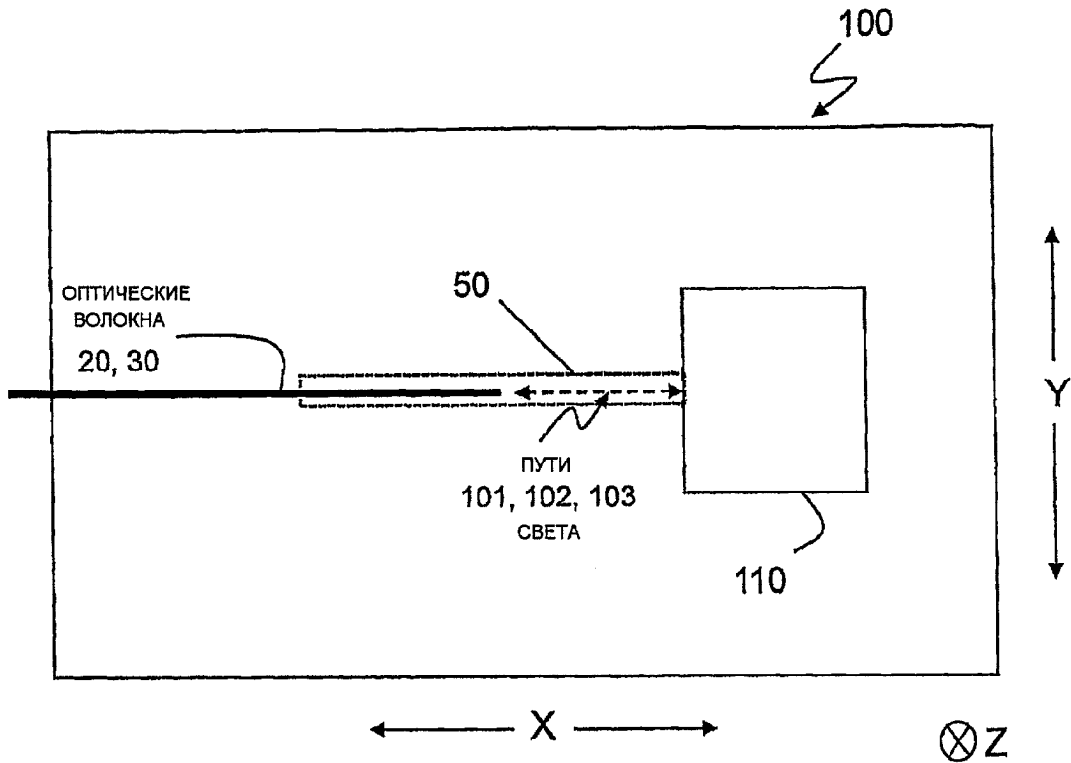
термочувствительный элемент переменным образом препятствует, по меньшей мере, части света, излучаемого передатчиком, чтобы изменять интенсивность света, принятого приемником, причем интенсивность света, принятого приемником, изменяется в соответствии с изменением размера термочувствительного элемента, который изменяется в ответ на изменение температуры термочувствительного элемента; и

электронное устройство, присоединенное к передатчику и приемнику, которое включает в себя управляющую схему, управляющую интенсивностью света, испускаемого передатчиком, на основании контура обратной связи и, используя опорный сигнал, причем электронное устройство включает в себя, по меньшей мере, один анализатор интенсивности света, который анализирует изменения интенсивности света, принятого приемником, и выдает на выходе, по меньшей мере, один сигнал.

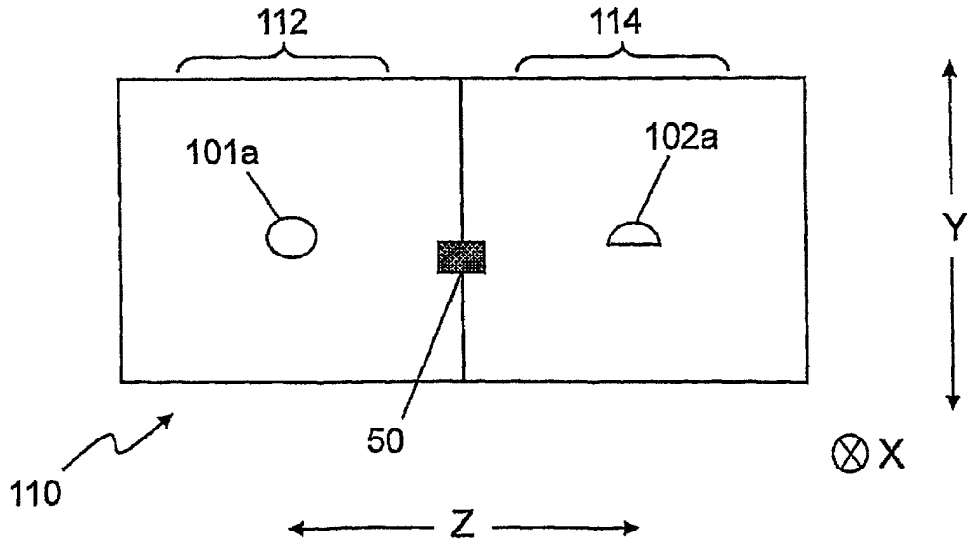




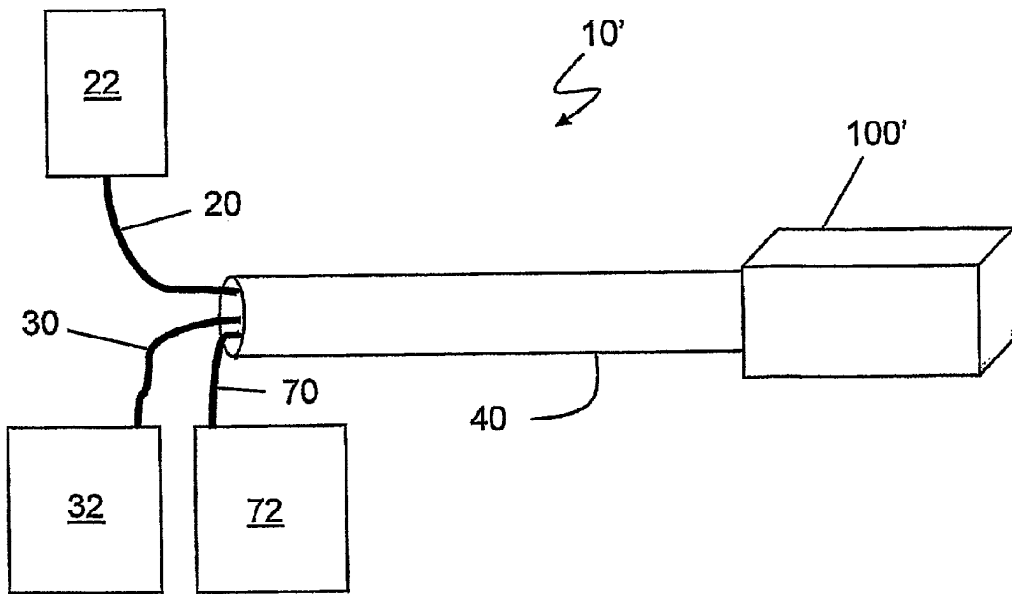
Фиг.1



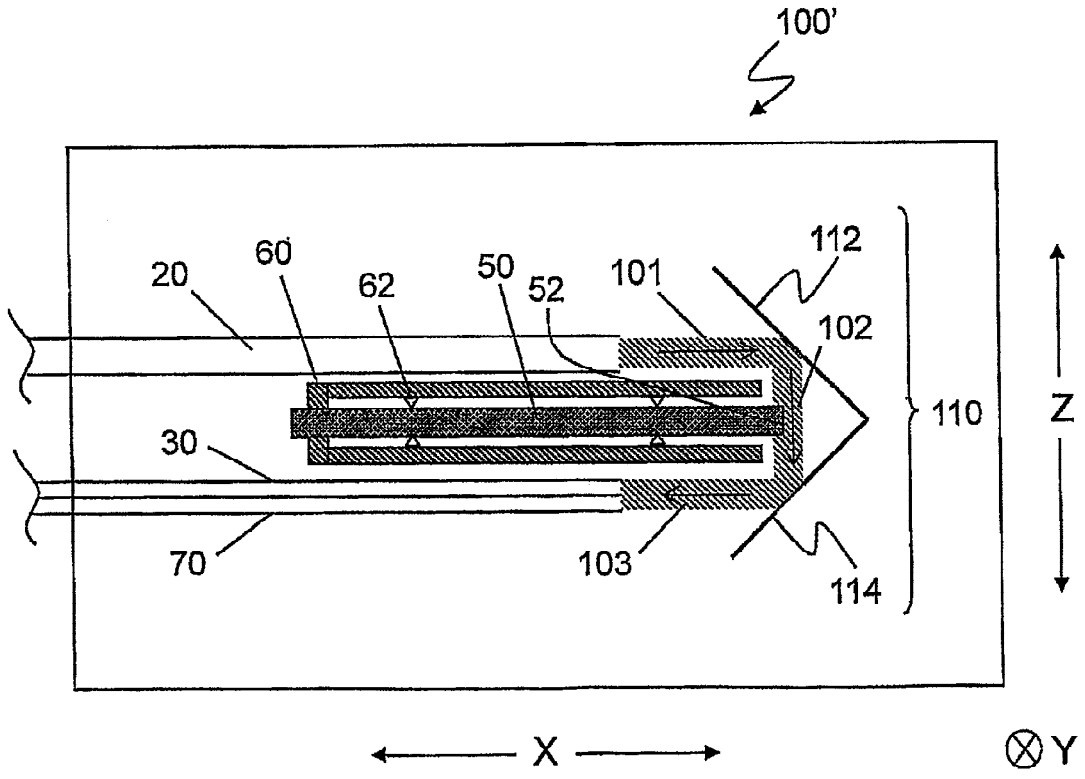
Фиг.3



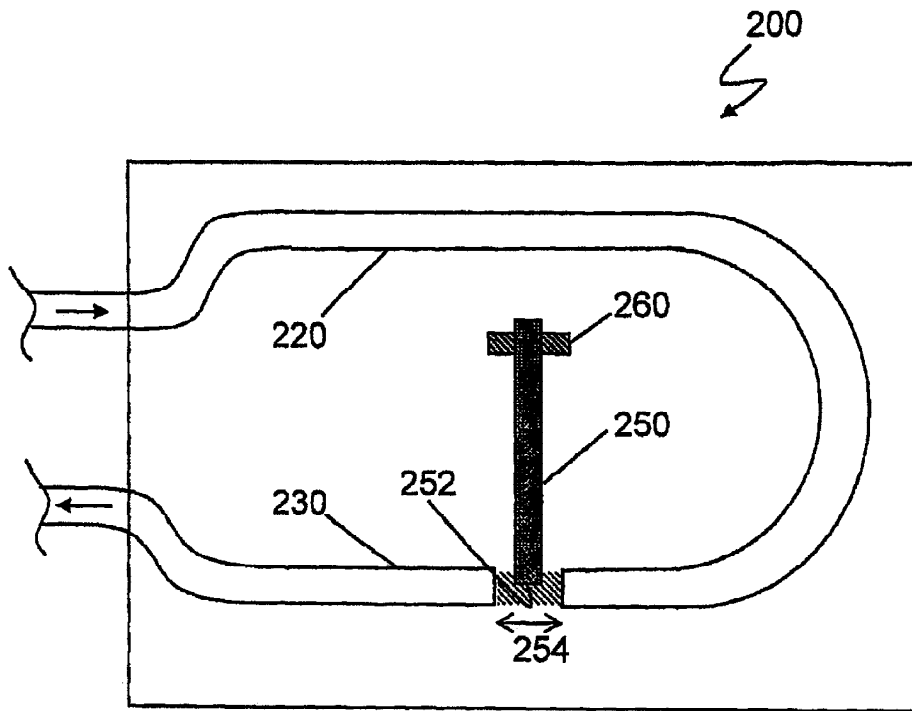
ФИГ.4



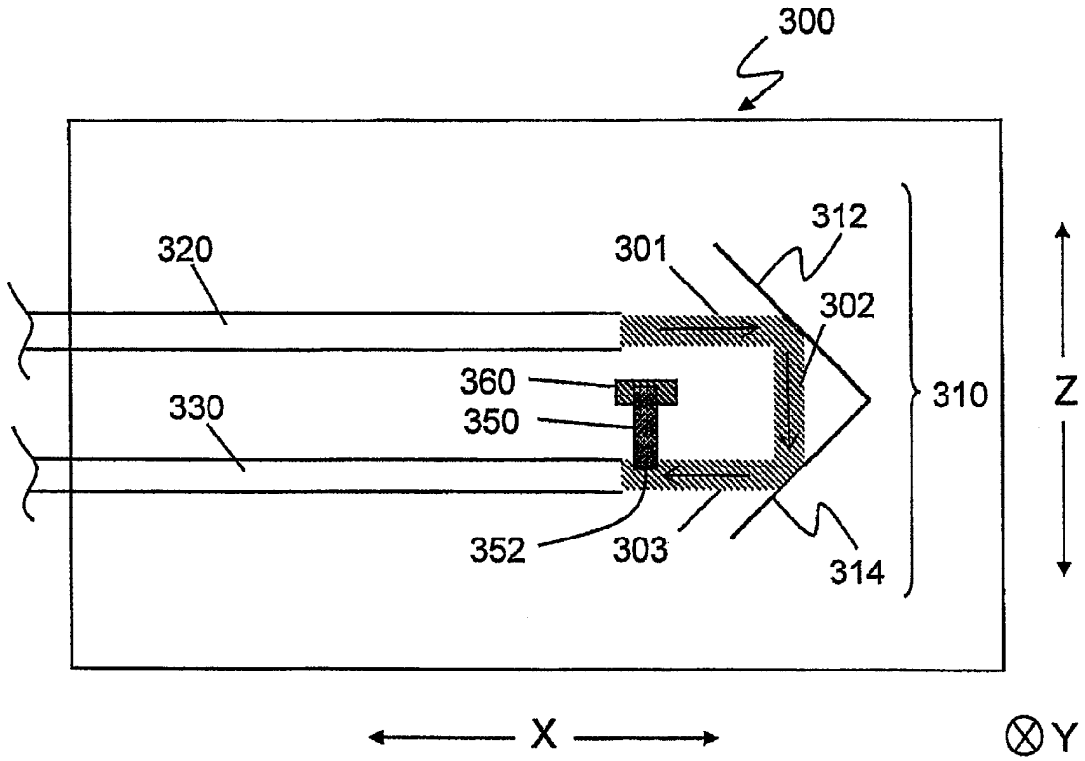
ФИГ.5



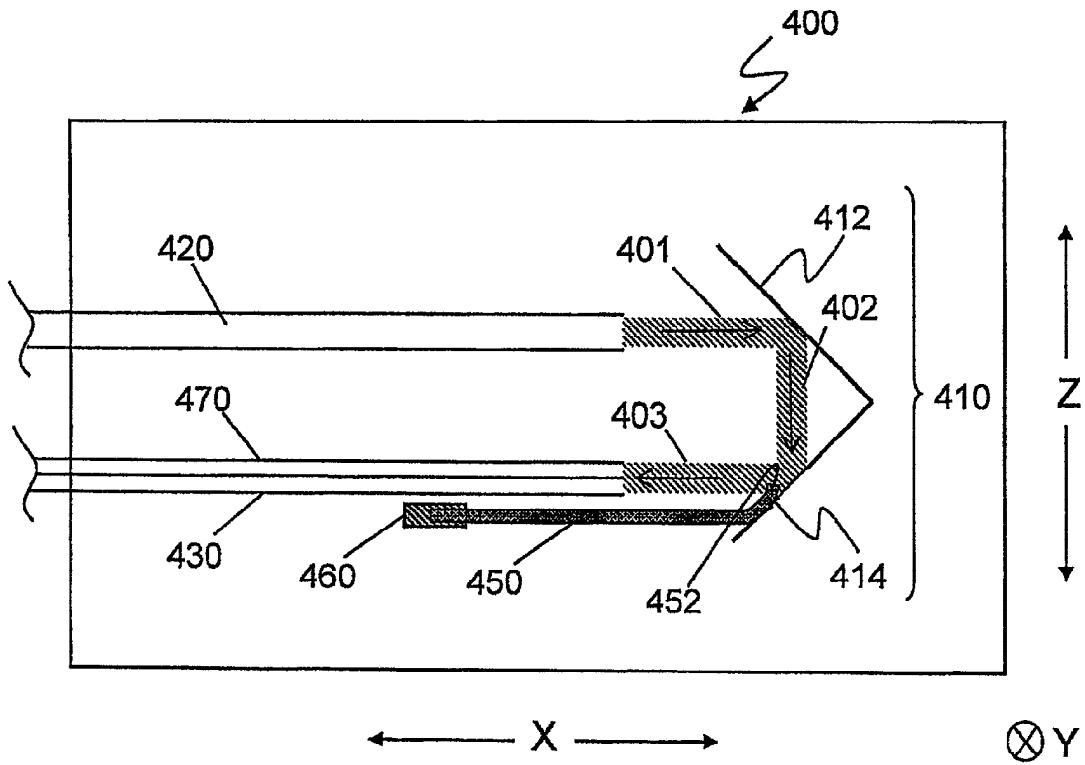
ФИГ.6



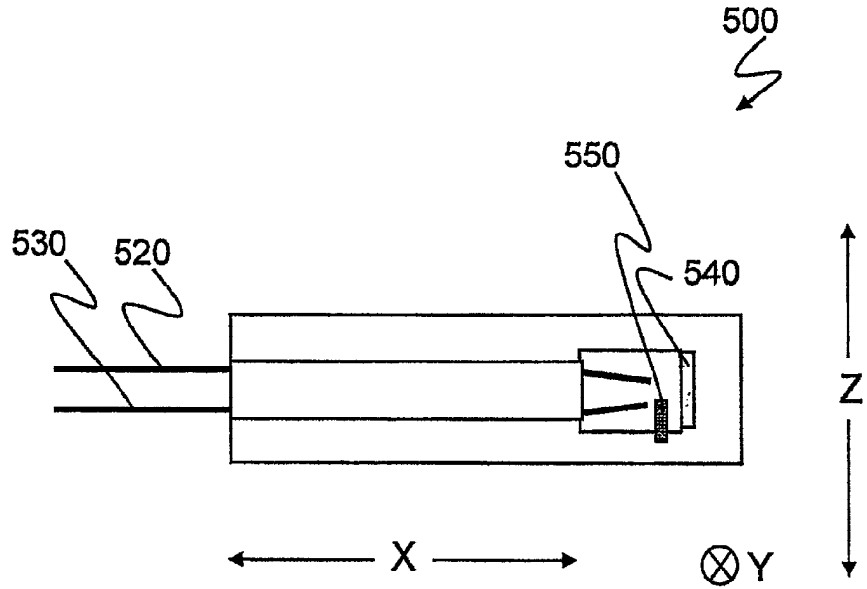
ФИГ.7



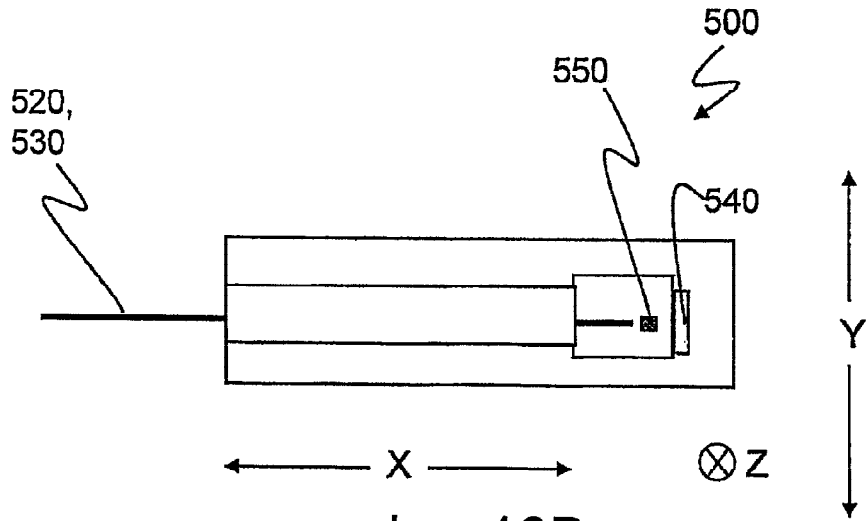
Фиг.8



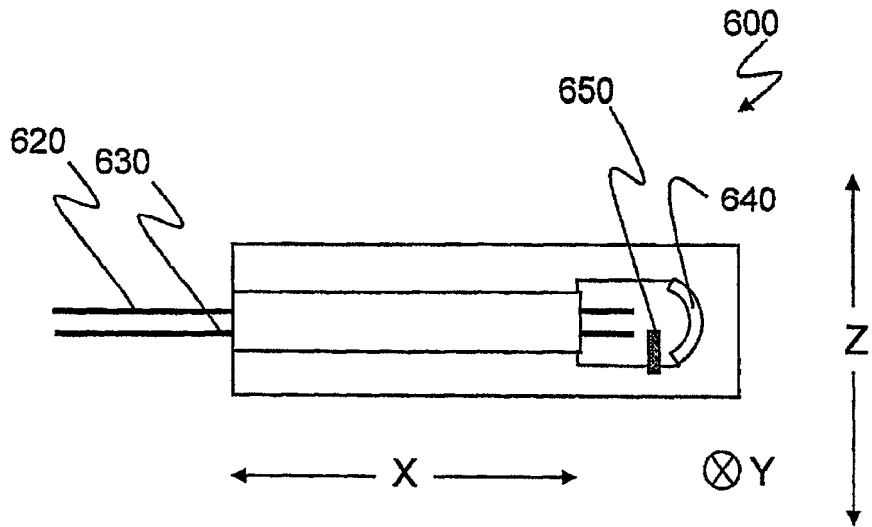
Фиг.9



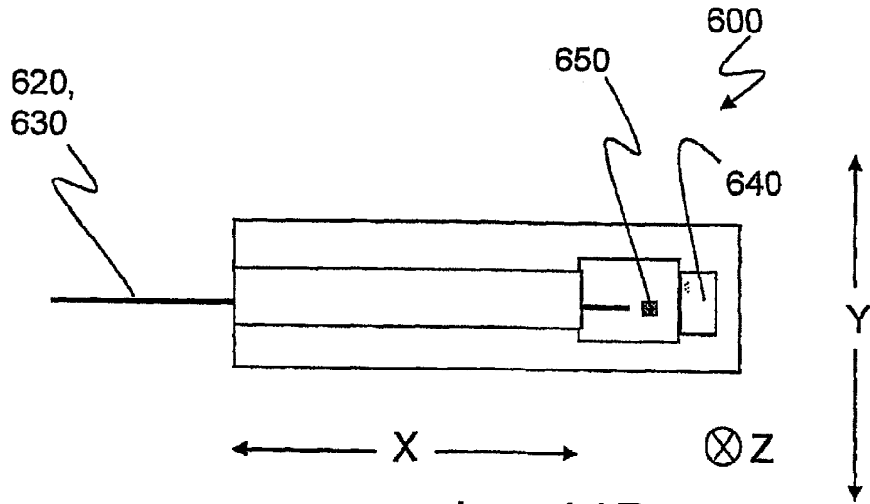
Фиг.10А



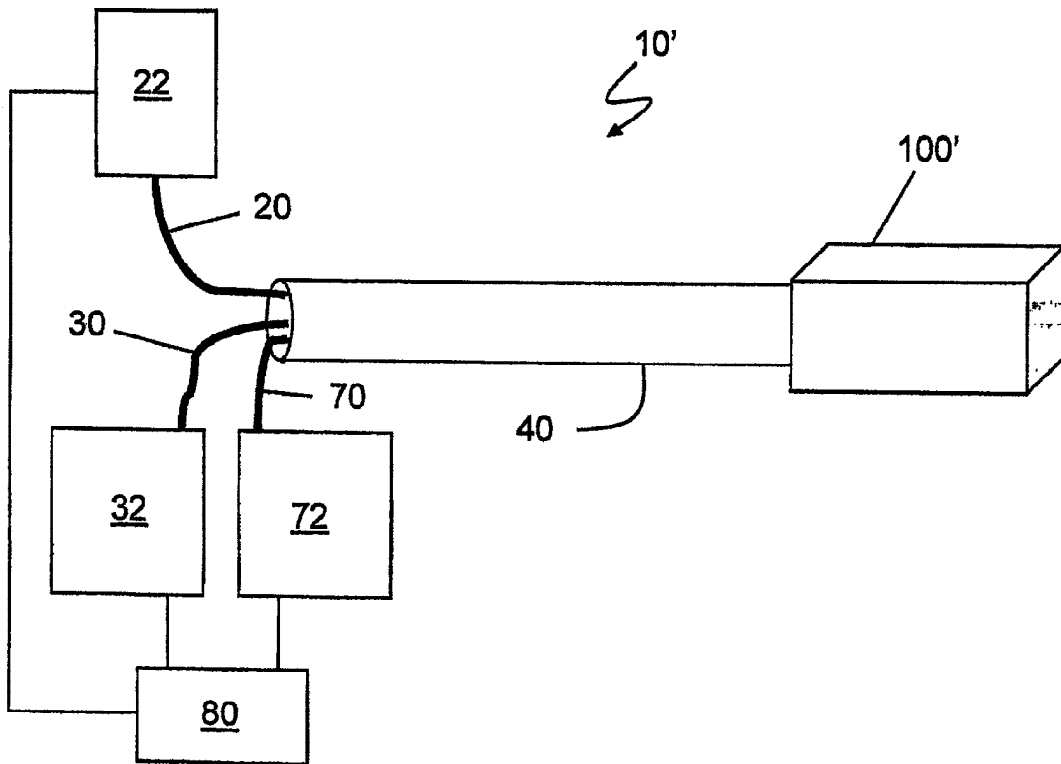
Фиг.10В



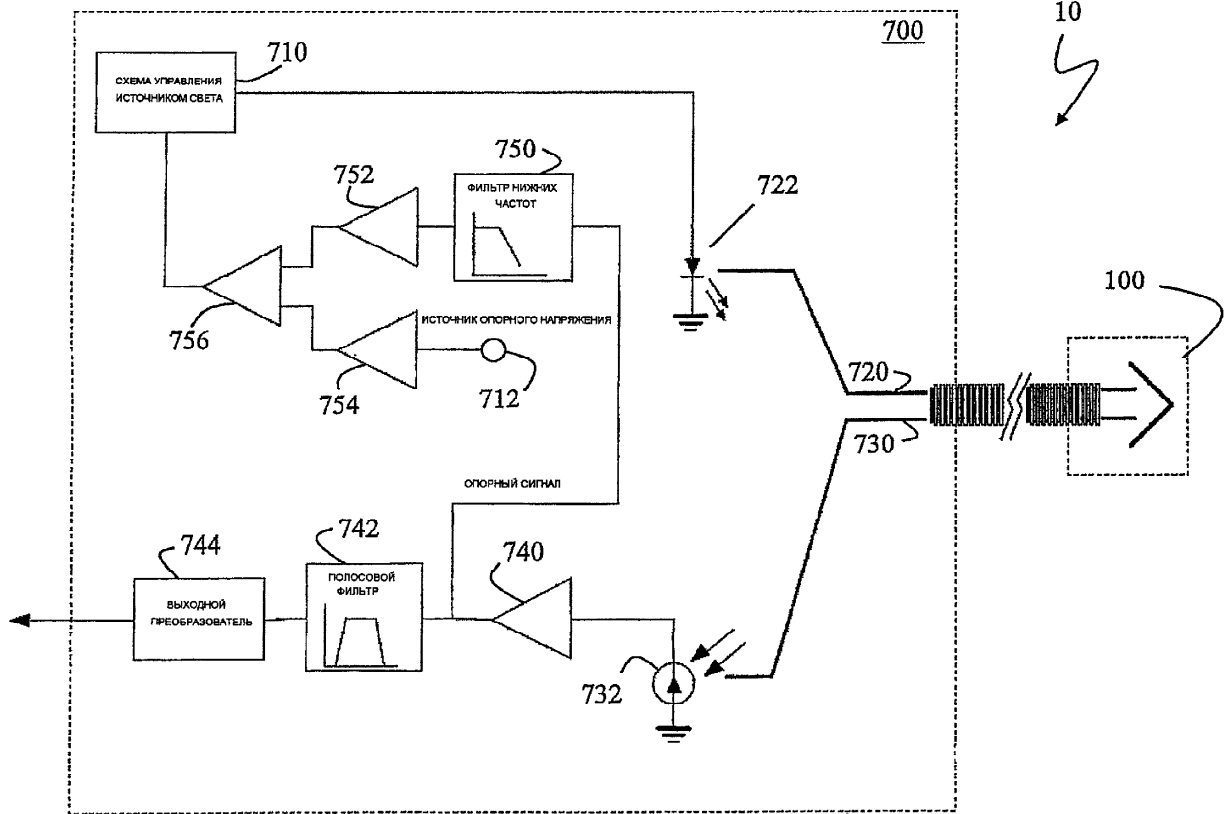
Фиг.11А



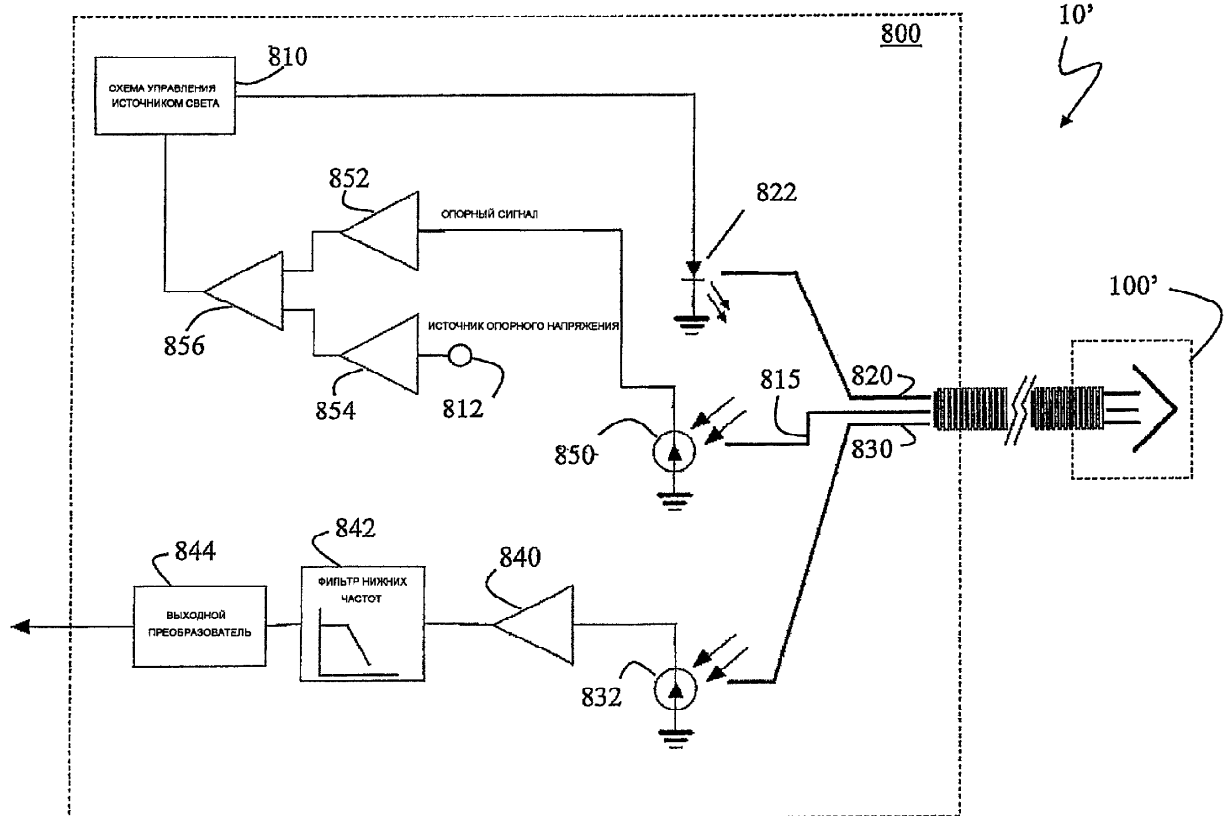
Фиг.11В



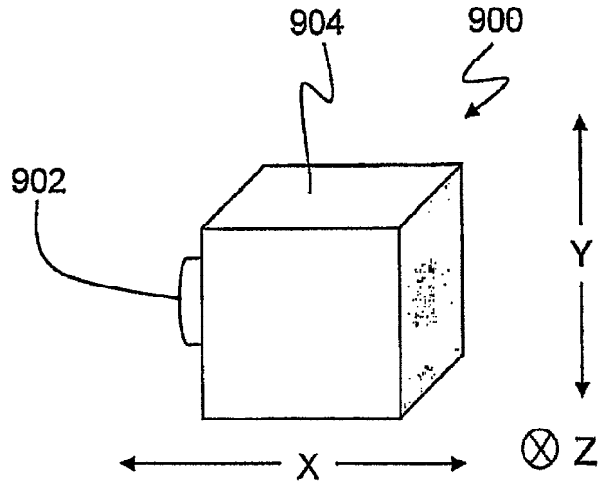
Фиг.12



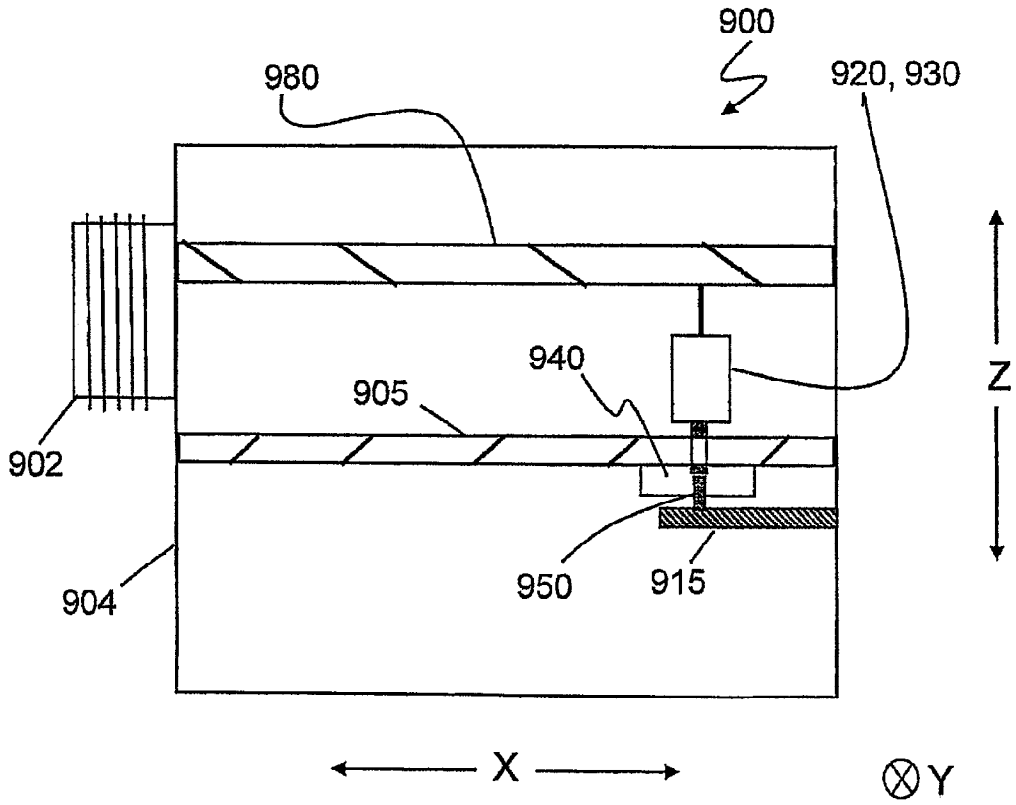
Фиг.13



Фиг.14

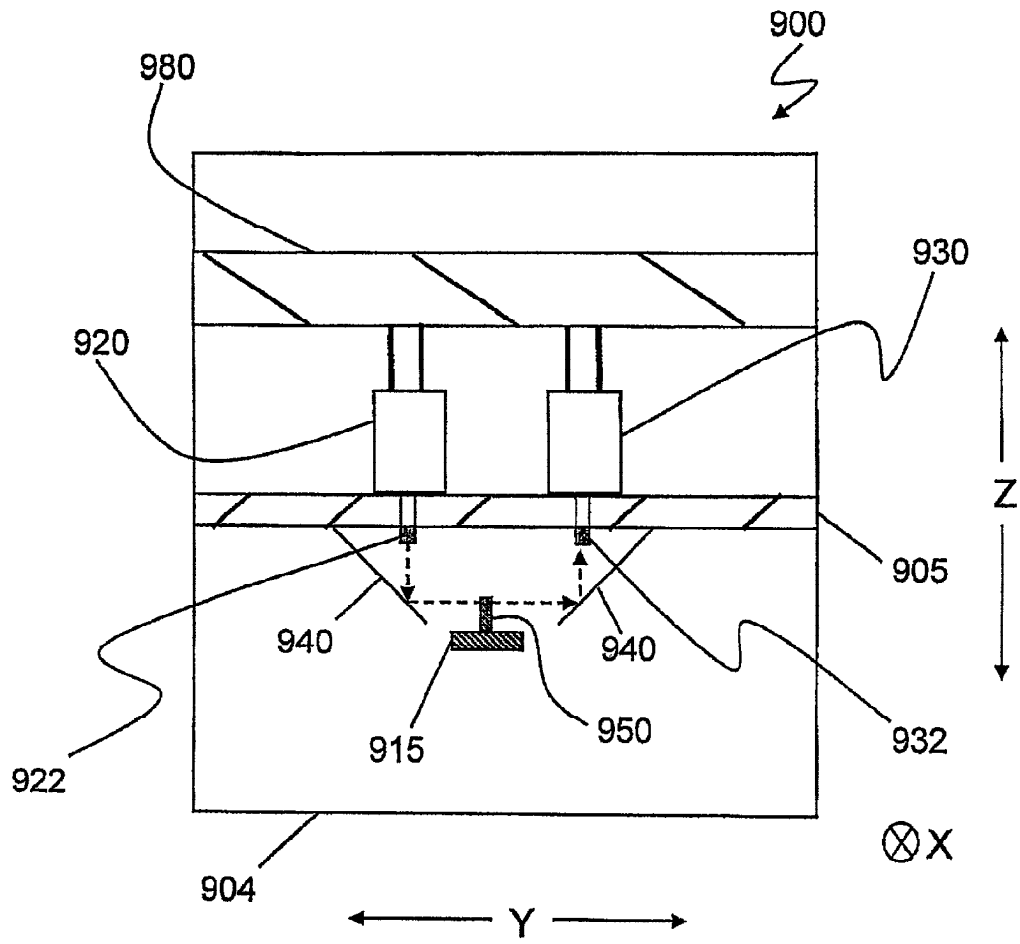


Фиг.15



Фиг.16





Фиг.17