(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202190804 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.08.18

(22) Дата подачи заявки
2018.10.29

(51) Int. Cl. ***G01J 5/00*** (2006.01)
G01J 5/08 (2006.01)
G01J 5/02 (2006.01)
G01J 5/06 (2006.01)
G01J 5/38 (2006.01)
G01J 5/48 (2006.01)
G01J 5/58 (2006.01)

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

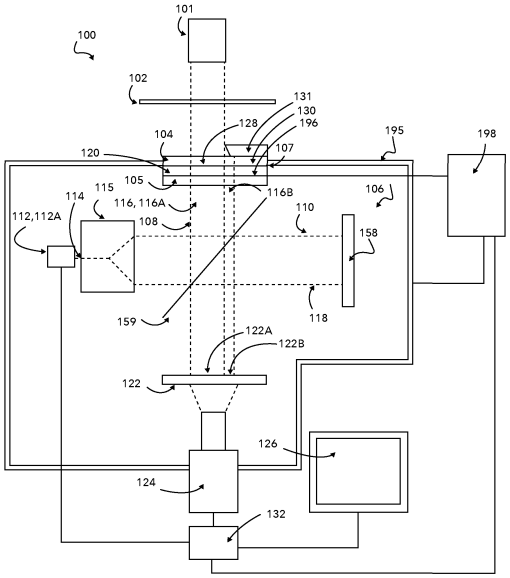
(86) **PCT/EP2018/079582**
(87) **WO 2020/088737 2020.05.07**

(71) Заявитель:
ЛИСЕОНИКС БВ (BE)

(72) Изобретатель:
Шевалье Филипп Артур Жан Гилен (BE)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Изобретение относится к устройству и способу получения изображения электромагнитного излучения от объекта. Устройство включает в себя входную оптику, позволяющую электромагнитному излучению проникать в устройство, включая плоскость изображения, на которой должно быть отображено изображение объекта. Устройство включает в себя интерферометр с измерительным плечом, при этом плоскость изображения находится в измерительном плече. Устройство включает в себя слой преобразования в плоскости изображения для преобразования электромагнитного излучения в пространственно-временное изменение показателя преломления слоя преобразования для побуждения образования пространственно-временных оптических разностей фаз в измерительном плече интерферометра, которые обрабатываются для получения репрезентативного изображения объекта.



202190804 A1

202190804 A1

Способ и система регистрации электромагнитного излучения

[001] ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[002] Настоящее изобретение в целом относится к способам и устройствам для регистрации электромагнитного излучения. В частности, настоящее изобретение относится к способам и устройствам для регистрации теплового излучения.

[003] УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[004] Спектр электромагнитного излучения может быть представлен кривой излучения черного тела, известной как закон излучения Планка, и задан уравнением

$$u(T,\nu) = \left(\frac{8\pi\nu}{c^3}\right)\left(\frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}\right), \qquad (1)$$

где *u(T, ν)* является энергией излучения на единицу объема и единичным частотным интервалом при температуре *T*. Для практических целей используют мощность излучения поверхности черного тела при температуре *T*, определяемую как:

$$w(T,\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5\left(exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)-1\right)}. \qquad (2)$$

[005] При интегрировании уравнения мощности излучения общая мощность, излучаемая единицей площади черного тела, может быть равна:

$$W = \sigma T^4, \qquad (3)$$

где σ является постоянной Стефана.

[006] Детекторы электромагнитного излучения разработаны для регистрации определенных диапазонов электромагнитного спектра. Важным классом таких детекторов являются тепловые инфракрасные детекторы. Тепловые инфракрасные детекторы можно разделить на охлаждаемые и неохлаждаемые. Охлаждаемые детекторы, как известно,

дороги и имеют пространственное разрешение, которое уступает датчикам изображения для видимого спектра, таким как стандартные датчики изображения ПЗС (CCD), КМОП (CMOS) и InGaAs. Неохлаждаемые детекторы можно разделить на детекторы, управляемые термоэлектрическим охладителем, ТЭО (TEC) или детекторы, не имеющие термоэлектрического охладителя, без ТЭО (TEC-less). Многие из неохлаждаемых детекторов основаны на микроболометрах, в которых используют технологию микроэлектромеханических датчиков (MEMS). Недавно компания Sierra-Olympic представила неохлаждаемую тепловизионную камеру высокой четкости (1080p) (VAYU HD) на основе неохлаждаемого микроболометра VOx с разрешением 1920x1200 и шагом пикселя 12 микрон. Тепловизионные камеры FLIR Systems были внедрены в системы ночного видения BMW Night Vision, таким образом люди и животные могут быть обнаружены ночью на расстоянии около 300 м, что намного дальше, чем при использовании фар. По прогнозам, к 2023 году мировой рынок инфракрасной визуализации достигнет 7,3 миллиарда долларов США. Многие компании по всему миру вкладывают большие деньги в поиск недорогих технологий производства высокопроизводительных тепловых детекторов.

[007] Патент США US 4275302 описывает способ и устройство для преобразования тепловизионных изображений во вторичные изображения, например видимые изображения. Предпочтительный механизм в US 4275302 основан на физической деформации границы раздела жидкость-жидкость.

[008] Патент США US 5072120 описывает семейство электромагнитных формирователей изображения. Он основан на оптическом считывании теплового изображения, которое находится в текучей среде, в частности в газе, предпочтительно в гексафториде серы, элегазе (SF6). Пространственное изменение показателя преломления, вызванное температурой, измеряют с использованием типичных интерферометрических установок. В патенте США US 5072120

предпочтительным механизмом для изменения показателя преломления среды в ответ на инфракрасный сигнал является обмен колебательной энергии на поступательную.

[009] В патенте США US 5365065 описан чувствительный интерферометрический формирователь изображений с параллельными тепловыми волнами, который используют для определения характеристик образцов, подготовленных надлежащим образом для извлечения информации об образце. В изобретении используют возбуждающий луч, который предпочтительно является лазерным, например, для повышения температуры образца и может быть классифицирован как непассивный формирователь изображения. Статья Allen Flusberg and Shrenik Deliwala ("Highly sensitive infrared imager with direct optical readout", Infrared Technology and Applications XXXII, Proc. of SPIE Vol. 6206 (page 62061E-1 to 62061E-18) (2006), doi:10.1117/12.669353) описывает интерферометр Фабри-Перо, используемый для преобразования инфракрасного излучения в видимый свет. В статье Allen Flusberg et al. ("Thermal-to-Visible Transducer (TVT) for Thermal-IR imaging", Infrared Technology and Applications XXXIV, Proc. of SPIE Vol. 6940, 694015, (2008), doi: 10.1117/12.783013), описывают характеристики необходимых пиксельных массивов, которые были изготовлены. В патентах США US 7491922 B1, US 7767951, US 8153948 B1 и US 8309899 B1 применяют результаты выводов вышеупомянутых статей. Предпочтительным абсорбирующим материалом является нитроцеллюлозная пленка с покрытием (пленкой) с низкой тонкостью. Нитроцеллюлоза, как известно, опасна и представляет собой проблему для безопасности. Предпочтительным механизмом в патентах США US 7491922 B1, US 7767951, US 8153948 B1 и US 8309899 B1 являются изменения оптической толщины преобразователя из-за нагрева от поглощенного ИК излучения, приводящего к модуляции отражательной способности преобразователя, как видно с помощью зондирующего лазерного луча. В вышеупомянутых статьях также указано, что время изготовления будет составлять приблизительно 1-2 недели после

полного запуска.

[010] Патентный документ US 2005/0082480 A1 описывает систему инфракрасной камеры. В предпочтительном механизме используют пиксели с полосой пропускания, длина волны которой изменяется из-за изменения показателя преломления при изменении температуры пикселя. Терморегулируемый оптический фильтр реагирует на ИК энергию, излучаемую сценой, которую нужно отобразить.

[011] СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[012] Задачей настоящего изобретения является создание детектора электромагнитного излучения, который решает проблемы, связанные с предшествующим уровнем техники.

[013] Альтернативно или дополнительно, задачей настоящего изобретения является преобразование электромагнитных изображений на длинах волн, таких как инфракрасные, миллиметровые и микроволновые, в полезные длины волн, которые могут использоваться в устройствах формирования изображений, таких как камеры.

[014] Вкратце, настоящее изобретение относится к устройству формирования изображения электромагнитного излучения для изображения объектов, например, в инфракрасном, миллиметровом и/или микроволновом диапазоне длин волн и преобразования изображений этих объектов в полезные длины волн, которые устройства формирования изображений в видимом свете, такие как ПЗС (CCD), КМОП (CMOS) и датчики InGaAs, могут записывать и/или которые могут быть видны невооруженным глазом. Здесь термин «видимый» предназначен для обозначения видимого невооруженным человеческим глазом. Термин «невидимый» предназначен для обозначения невидимого невооруженным человеческим глазом. Следует принять во внимание, что некоторые устройства, предназначенные для отображения видимого

света, такие как камеры ПЗС (CCD), КМОП (CMOS) и InGaAs, также подходят для формирования изображения ближнего инфракрасного света, который невидим невооруженным глазом. Изобретение также направлено на формирование изображений в инфракрасных длинах волн, к которым такие камеры как ПЗС (CCD), КМОП (CMOS) и InGaAs нечувствительны.

[015] Согласно первому аспекту, предусмотрено устройство для отображения, например невидимого, электромагнитного излучения от объекта. Электромагнитное излучение может включать в себя инфракрасное (например, дальнее инфракрасное), миллиметровое и микроволновое излучение. Устройство включает в себя входную оптику для проникновения электромагнитного излучения в устройство. Устройство включает в себя плоскость изображения, на которой отображается изображение объекта. Устройство включает в себя интерферометр с измерительным плечом. Плоскость изображения находится в измерительном плече. Устройство включает в себя слой преобразования в плоскости изображения для преобразования электромагнитного излучения в пространственно-временное изменение показателя преломления слоя преобразования для побуждения образования пространственно-временных оптических разностей фаз в измерительном плече интерферометра, представляющего изображение объекта. Таким образом, зависящие от температуры оптические разности фаз создаются внутри заданного объема поглощающего или возбужденного материала детектора, то есть в слое преобразования, и впоследствии обнаруживаются с помощью оптического считывания. Температурно-зависимые оптические разности фаз измеряют с помощью интерферометрических установок. Следовательно, зондирующий луч в измерительном плече интерферометра может использоваться для определения оптических фазовых изменений в слое преобразования. Эти оптические изменения фазы можно использовать для генерирования видимого изображения, представляющего изображение объекта.

[016] Как правило, в интерферометре единичный входящий луч когерентного света делится на два идентичных пучка. Каждый из этих пучков проходит оптический путь, и они рекомбинируются перед попаданием на детектор. Оптические пути, являющиеся произведением показателя преломления и физического расстояния, пройденного соответствующими лучами, не равны и создают между ними оптическую разность фаз. Именно эта внесенная оптическая разность фаз создает интерференционную картину между изначально идентичными волнами. Разница оптического пути является диагностикой всего, что изменяет оптическую фазу на оптических путях. Это может быть изменение размеров самой длины пути или изменение действительной части показателя преломления вдоль физического пути. Интерферометр может включать в себя измерительное плечо и опорное плечо. Плоскость изображения находится на первом пути, образованном измерительным плечом, и включает в себя зондирующий луч. Опорное плечо включает в себя второй путь, экранированный от электромагнитного излучения. Интерферометр может определять (пространственно-временную) оптическую разность фаз между измерительным плечом и опорным плечом.

[017] Измерительное плечо интерферометра может включать в себя измерительный луч, причем измерительный луч может быть когерентным световым лучом. Измерительный луч может иметь такой размер поперечного сечения, что все изображение объекта на плоскости изображения находится в пределах площади поперечного сечения. Следовательно, измерительный луч можно использовать для определения изменения оптической фазы в каждой позиции в изображении объекта на плоскости изображения, например, в каждом пикселе изображения объекта в плоскости изображения.

[018] Основной принцип интерферометрического подхода заключается в том, что изменения температуры T пластины из прозрачного материала с показателем преломления n и толщиной L,

образованной в данном случае слоем преобразования, приводят к изменению фазы, зависящему от температуры, которое определяется выражением:

$$\frac{d\varphi}{dT} = \frac{2\pi}{\lambda_0} L \left(\frac{dn}{dT} + \alpha(n - 1) \right), \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{1}{L}\left(\frac{dL}{dT}\right)$ является тепловым коэффициентом линейного расширения материала и $\varphi(T) = \frac{2\pi}{\lambda_0} L(T)(n(T) - 1)$ является зависимой от температуры оптической разностью фаз (см. Sergio De Nicola, Andrea Finizio, Pietro Ferraro, Giovanni Pierattini, Interferometric measurement of thermo-optic coefficients of transparent materials," Proc. SPIE 4016, Photonics, Devices, and Systems, (29 December 1999); doi: 10.1117/12.373648).

[019] При необходимости электромагнитное излучение проходит через слой преобразования только один раз. Это может помочь улучшить разрешение устройства.

[020] Согласно второму аспекту, слой преобразования включает в себя часть, экранированную от электромагнитного излучения, для генерирования компенсирующего сигнала из этой части. Экранированная часть может быть расположена в местоположении плоскости изображения. Экранированная часть может, например, располагаться в плоскости изображения вне изображения объекта, например, рядом с изображением или вокруг изображения. Размер поперечного сечения измерительного луча может быть таким, что 1) все изображение или часть изображения объекта на плоскости изображения находится в пределах площади поперечного сечения и 2) экранированная часть находится в пределах области поперечного сечения. Экранированная часть защищена от электромагнитного излучения. Следовательно, в экранированной части не следует ожидать изменения показателя преломления слоя преобразования из-за падающего электромагнитного излучения, и, таким образом, никакого изменения оптической фазы из-за падающего электромагнитного

излучения. Отбор проб с экранированной части может производиться компенсационным лучом в измерительном плече. Любое оптическое изменение фазы, обнаруженное в экранированной части, вероятно, связано с изменениями окружающей среды, не связанными с падающим электромагнитным излучением. Следовательно, оптическая фаза, определенная в экранированной части, может использоваться в качестве компенсации для коррекции изменений оптической фазы, определенных на изображении объекта в плоскости изображения.

[021] Это позволяет проводить измерения зондирующим лучом в измерительном плече, например, фазосдвигающего интерферометра, температурно-зависимых оптических разностей фаз в, например, недорогом, материале детектора, который включает в себя два термически связанных объема образца, где показатель преломления измерительного объема изменяется под воздействием объектного луча электромагнитного излучения, и где компенсационный объем оптически изолирован от объектного луча электромагнитного излучения.

[022] Автокомпенсация может быть осуществлена путем геометрической настройки интерферометра таким образом, чтобы геометрическое изменение длины L образца с температурой было одинаковым в зондирующем луче и в компенсационном луче фазосдвигающего интерферометра.

[023] Источник излучения, генерирующий зондирующий луч, опорный луч и, при необходимости, компенсационный луч, может быть, в зависимости от типа интерферометрической установки, когерентным или низкокогерентным источником излучения.

[024] Следует понимать, что также возможно, чтобы часть слоя преобразования или идентичный второй слой преобразования была помещена в опорное плечо интерферометра для обеспечения компенсации.

[025] Согласно третьему аспекту, слой преобразования включает в себя твердое тело, жидкость, газ или любую их комбинацию. Предпочтительно слой преобразования является оптически прозрачным для зондирующего луча интерферометра. Предпочтительно выбирается твердое тело, жидкость, газ или их комбинация с большим термооптическим коэффициентом $\frac{dn}{dT}$. Термооптический коэффициент $\frac{dn}{dT}$ определяет изменение показателя преломления материала слоя преобразования при изменении температуры.

[026] Выбранный материал слоя преобразования детектора оптимизирует отношение сигнал/шум в интерферометре, обеспечивая модуляцию большой разности оптических путей как функцию трехмерного пространственного распределения энергетической освещенности в материале детектора. Поглощение электромагнитной энергии вызывает локальные изменения разности оптических путей интерферометра с автокомпенсацией фазового сдвига. Локальные разности оптических путей преобразуются после разворачивания фазы (“Two-dimensional phase unwrapping, Theory, algorithms, and software”, Dennis C. Ghiglia, Mark D. Pritt, ISBN 0-471-24935-1) в непрерывную двухмерную фазовую функцию. Эта развернутая фазовая функция используется для восстановления распределения температуры наблюдаемого объекта.

[027] При необходимости слой преобразования содержит полимер. Слой преобразования может, например, состоять из полимера. Полимер может, например, быть легированным полимером. Полимеры могут иметь высокие значения $\frac{dn}{dT}$.

[028] При необходимости слой преобразования включает в себя жидкую смесь, такую как смесь воды и гликоля, раствор, содержащий карбоновую кислоту (RCOOH), спирт (ROH), сложный эфир (RCOOR) и воду (H2O), или жидкий кристалл, например, синтетический жидкий

кристалл.

[029] При необходимости слой преобразования включает в себя коллоидную суспензию, такую как суспендированные наночастицы или магнитные жидкости. Коллоидная суспензия может обеспечить преимущество, заключающееся в том, что жидкость может обеспечивать высокое значение $\frac{dn}{dT}$, а взвешенные частицы могут обеспечивать быстрое нагревание жидкости под действием электромагнитного излучения.

[030] Например, следующие твердые вещества, жидкости и полимеры были идентифицированы как имеющие высокий термооптический коэффициент $\frac{dn}{dT}$:

боросиликатное стекло – $4{,}1\times10^{-6}$/K,
цинк-силикатное стекло – $5{,}5\times10^{-6}$/K,
кварцевое стекло – $10{,}8\times10^{-6}$/K,
вода – $0{,}91\times10^{-4}$/K,
полиметилметакрилат – $1{,}20\times10^{-4}$/K,
азополимер DR1/PMMA – $1{,}215\times10^{-4}$/K,
полистирол – $1{,}23\times10^{-4}$/K,
DR1 полиимид – $1{,}331\times10^{-4}$/K,
глицерин – $2{,}3\times10^{-4}$/K,
полиметакрилат – $3{,}33\times10^{-4}$/K,
1-пропанол – $3{,}9\times10^{-4}$/K,
метанол – $3{,}94\times10^{-4}$/K,
этанол – 4×10^{-4}/K,
ацетонитрил – $4{,}5\times10^{-4}$/K,
ацетон – $5{,}42\times10^{-4}$/K,
тетрахлорметан – $6{,}12\times10^{-4}$/K,
сероуглерод – $8{,}09\times10^{-4}$/K, и
азополиуретан – $9{,}12\times10^{-4}$/K.

[031] Использование вышеуказанных материалов или их комбинаций в слое преобразования формирует предпочтительные

варианты осуществления изобретения.

[032] Азополиуретан (Azo BPU 1) имеет термооптический коэффициент $1,4\times10^{-3}$/K при длине волны 1550 нм (Yan Jiang et al., Optical Materials 75 (2018) 858-868), где его можно использовать в, например, фазосдвигающей интерферометрической установке на основе лазерного диодного источника 1550 нм и детектора InGaAs. Путем выбора высокого термооптического коэффициента, такого как у азополиуретана, и правильной длины волны зондирующего луча можно получить высокочувствительное устройство и способ.

[033] Согласно четвертому аспекту, слой преобразования размещается между двумя окнами. Слой преобразования может, например, размещаться в узком пространстве, например, на ширине 1 – 100 мкм между двумя окнами. Два окна могут быть соединены по периметру для образования полости между окнами. Полость может легко вместить слой преобразования, если он представляет собой твердое тело, жидкость, газ или их смесь. Типичные полости для чистой воды имеют толщину x = 12 мкм на основе времени релаксации $\tau = \frac{x^2}{\chi}$, где т = 1 мс, а коэффициент теплопроводности чистой воды составляет $\chi = 1{,}48 \times 10^{-7}$ м²/с. Небольшое время релаксации предпочтительно для получения быстрого отклика датчика. Небольшое время релаксации также позволяет использовать методы корреляции на записанных изображениях блоком обработки, что приводит к увеличению отношения сигнал/шум в окончательно отображаемом изображении.

[034] При необходимости внешнее окно, направленное к источнику электромагнитного излучения, является прозрачным для электромагнитного излучения. При необходимости внешнее окно непрозрачно для света, используемого в интерферометре. Внешнее окно может, например, содержать германий, селенид цинка, сульфид цинка, кремний, фторид кальция и/или халькогенидные стекла, которые являются типичными материалами окон для теплового инфракрасного

излучения. При необходимости внешнее окно включает в себя первую область, прозрачную для электромагнитного излучения, и вторую область, непрозрачную для электромагнитного излучения. Вторая область может образовывать экранированную часть.

[035] При необходимости внешнее окно имеет по меньшей мере одну из своих поверхностей с покрытием. Наружная поверхность внешнего окна обычно покрыта высокоэффективным антибликовым покрытием. Внутренняя поверхность внешнего окна может иметь покрытие, которое оптимизировано для передачи внешнего электромагнитного излучения и отражения на длине волны света, используемого в интерферометре.

[036] При необходимости внутреннее окно, направленное от источника электромагнитного излучения, прозрачно для света, используемого в интерферометре. При необходимости внутреннее окно непрозрачно для электромагнитного излучения. При необходимости внутреннее окно может иметь поверхности с покрытием. Наружная поверхность внутреннего окна обычно покрыта высокоэффективным антибликовым покрытием. Внутренняя поверхность внутреннего окна может иметь покрытие, оптимизированное для пропускания света интерферометра и отражения на длинах волн внешнего электромагнитного излучения. Внутреннее окно может, например, содержать кварцевое стекло или стекло BK7.

[037] При необходимости внешнее окно и внутреннее окно поддерживаются при разных температурах для создания температурного градиента, который заставляет тепловую волну, поглощаемую слоем преобразования, распространяться в основном вдоль оптической оси интерферометра. Разницу температур можно создать, поместив прозрачный «холодный палец» между слоем преобразования и внутренней поверхностью внутреннего окна. Такой прозрачный «холодный палец» мог бы быть покрытием, имеющим высокую

теплопроводность (например, алмазоподобный материал, обычно имеющий 900 – 2320 $Вт\,м^{-1}K^{-1}$). Этот «холодный палец» можно подключить к внешнему термоэлектрическому охладителю, ТЭО (TEC). Наружное и внутреннее окно может быть оборудовано датчиками температуры для контроля градиента температуры.

[038] Согласно пятому аспекту, интерферометр является фазосдвигающим интерферометром (Optical Shop Testing, 3rd Edition, Wiley-Interscience, Chapter 14). Фазосдвигающий интерферометр предоставляет преимущество, заключающееся в том, что возможно точное измерение пространственно-временной разности фаз.

[039] При необходимости источником излучения интерферометра является модулированный по току лазерный диод (Hisao Kikuta, Koichi Iwata, Ryo Nagata, Distance measurement by the wavelength shift laser diode light, Applied Optics Vol.25, No.17, 1 September 1986). При необходимости, например, модулированный по току лазерный диод синхронизируется с цифровой камерой.

[040] Согласно шестому аспекту устройство включает в себя цифровую камеру, предназначенную для захвата интерференционного изображения, создаваемого интерферометром.

[041] При необходимости устройство включает в себя блок обработки, выполненный с возможностью обработки сигнала цифровой камеры, такого как для отображения на устройстве отображения.

[042] Согласно седьмому аспекту новизны предлагается тепловизионная камера, включающая в себя вышеописанное устройство.

[043] Согласно восьмому аспекту предлагается многоспектральная камера, включающая в себя вышеописанное устройство.

[044] Согласно девятому аспекту предлагается камера ночного видения, включающая в себя вышеописанное устройство.

[045] Согласно десятому аспекту предлагается подключаемое устройство для мобильного устройства, такого как смартфон или планшетный компьютер, включающее в себя вышеописанное устройство, предназначенное для взаимодействия с мобильным устройством, таким образом, что цифровая камера мобильного устройства фиксирует интерференционное изображение, создаваемое интерферометром. Подключаемое устройство может, например, быть с защелкой устройством. Подключаемое устройство может, например, быть встроенным, например, встроенным в чехол для мобильного устройства.

[046] Согласно одиннадцатому аспекту предлагается способ отображения, например невидимого, электромагнитного излучения от объекта. Способ включает отображение, например, с помощью входной оптики, изображения электромагнитного излучения объекта на плоскости изображения входной оптики, при этом плоскость изображения находится в детекторном плече интерферометра. Способ включает преобразование посредством слоя преобразования в плоскости изображения электромагнитного излучения в пространственно-временное изменение показателя преломления слоя преобразования для побуждения образования пространственно-временных оптических разностей фаз в измерительном плече интерферометра, представляющего изображение объекта. Способ включает генерирование видимого изображения, представляющего изображение объекта, на основе оптических разностей фаз, развернутых по фазе.

[047] При необходимости способ включает генерирование в интерферометре, например, в месте расположения плоскости изображения, компенсационного сигнала за счет экранирования части слоя преобразования от электромагнитного излучения.

[048] При необходимости способ включает генерирование множества видимых изображений, при этом фаза света подсветки интерферометра различается между отдельными изображениями множества видимых изображений, и генерирование единого видимого изображения на основе множества видимых изображений.

[049] Согласно двенадцатому аспекту предлагается компьютерный программный продукт, включающий в себя части программного кода, выполненные с возможностью, при исполнении на программируемом устройстве, генерирования видимого изображения на основе интерференционного изображения, сгенерированного интерферометром вышеописанного устройства, вышеописанной камеры или вышеописанного подключаемого устройства. Компьютерный программный продукт может быть, например, прикладной программой, также называемой приложением, устанавливаемым и исполняемым на мобильном устройстве. Следовательно, обыкновенное мобильное устройство можно легко преобразовать в устройство отображения, например невидимого, электромагнитного излучения, такое как тепловизионное или инфракрасное устройство.

[050] Применением устройств, камер и способа является регистрация инфракрасного излучения в диапазоне длин волн от 0,7 микрон (430 ТГц) до 1000 микрон (300 ГГц). В этом спектре можно найти спектральные диапазоны ближнего инфракрасного излучения (near-infrared radiation, NIR), коротковолнового инфракрасного излучения (short-wave infrared radiation, SWIR), микроволнового инфракрасного излучения (medium-wave infrared radiation, MWIR), длинноволнового инфракрасного излучения (long-wave infrared radiation,LWIR) и сверх длинноволнового инфракрасного излучения (very long-wave infrared radiation, VLWIR). Неохлаждаемая работа может рассматриваться до длин волн 30 микрон. Мультиспектральный детектор может быть создан из соответствующей смеси поглощающих материалов с высоким значением $\frac{dn}{dT}$.

[051] Настоящее изобретение может позволить изготавливать недорогие многоспектральные широкоформатные тепловые инфракрасные детекторы высокого разрешения с коротким временем производственного цикла. Оптико-механическая сложность настоящего изобретения аналогична оптомеханике оптической головки CDROM, которая производилась массово по низкой цене. Основными рынками для этого детектора являются оборона, безопасность и автомобильная промышленность, а также новый рынок потребительских приложений и рынки энергосбережения.

[052] Следует принять во внимание, что любой или несколько из вышеупомянутых аспектов, функций и вариантов могут быть объединены. Следует понимать, что любой из вариантов, описанных с учетом одного из аспектов, может быть применен в равной степени к любому из других аспектов. Также должно быть ясно, что все аспекты, функции и опции, описанные для устройств, в равной степени применимы к камерам и способу и наоборот.

[053] КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[054] Далее изобретение будет объяснено на основе примерных вариантов осуществления, которые представлены на чертеже. Примерные варианты осуществления приведены в качестве неограничивающей иллюстрации. Следует отметить, что фигуры представляют собой только схематические представления вариантов осуществления изобретения, которые приведены в качестве неограничивающего примера.

[055] На чертеже:

Фиг. 1 показывает схематический пример устройства;

Фиг. 2 показывает схематический пример устройства, использующего интерферометрическую установку Маха-Цендера;

Фиг. 3 показывает схематический пример устройства, использующего интерферометрическую установку поперечного сдвига;

Фиг. 4 показывает схематический пример устройства, использующего интерферометрическую установку Физо;

Фиг. 5 показывает схематический пример устройства, использующего интерферометрическую установку Тваймана-Грина;

Фиг. 6 показывает схематический пример устройства, использующего поляризующую интерферометрическую установку Тваймана-Грина;

Фиг. 7 показывает схематическое представление способа; и

Фиг. 8 показывает схематическое представление подключаемого устройства для мобильного устройства.

[056] ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[057] Фиг. 1 показывает схематическое изображение примера устройства 100. Устройство предназначено для отображения электромагнитного излучения от объекта 101. Электромагнитное излучение предпочтительно представляет собой невидимое излучение, такое как ближнее инфракрасное излучение (NIR), коротковолновое инфракрасное излучение (SWIR), средневолновое инфракрасное излучение (MWIR), длинноволновое инфракрасное излучение (LWIR), очень длинноволновое инфракрасное излучение (VLWIR), миллиметровой длины волны излучение и/или микроволновой длины волны излучение.

[058] Устройство 100 включает в себя входную оптику. В этом примере входная оптика включает в себя объектив 102. В этом примере входная оптика включает в себя входное окно 104. Входное окно 104 позволяет электромагнитному излучению проникать в устройство 100. Объектив 102 может включать в себя классический и/или дифракционный оптический элементы. Входная оптика включает в себя плоскость изображения, или фокальную плоскость 107, на которой

должен отображаться объект. Объектив 102 может включать в себя преломляющие, отражающие, катадиоптрические и/или дифракционные оптические элементы для фокусировки объекта 101 в плоскости 107 изображения. Устройство 100 включает в себя интерферометр 106. Здесь интерферометр 106 имеет светоделитель 159 и эталонное зеркало 158. Интерферометр 106 имеет измерительное плечо 108. Интерферометр 106 в этом примере также имеет опорное плечо 110. Интерферометр 106 включает в себя источник 112 света. Источник 112 света создает когерентный луч 114 света. Источник света может, например, быть лазерным диодом. Источник света может включать в себя коллиматор/расширитель 115 луча для увеличения размера поперечного сечения луча. В этом примере луч 114 света разделяется на первый луч 116, движущийся вдоль измерительного плеча 108, и второй луч 118, движущийся вдоль опорного плеча 110. Следует понимать, что плоскость 107 изображения находится в измерительном плече 108.

[059] Устройство 100 дополнительно включает в себя слой 120 преобразования в плоскости 107 изображения. Слой преобразования включает в себя материал, имеющий высокое значение $\frac{dn}{dT}$. Здесь плоскость 107 изображения расположена на задней плоскости окна 104, то есть на передней плоскости слоя 120 преобразования, или плоскость изображения расположена рядом с окном 104 в слое 120 преобразования.

[060] Когда изображение объекта 101 сфокусировано на слое 120 преобразования в плоскости 107 изображения, слой преобразования будет испытывать локальный нагрев в зависимости от интенсивности излучения в изображении. Высокое значение $\frac{dn}{dT}$ слоя 120 преобразования вызывает преобразование локальной интенсивности электромагнитного излучения в изображении в локальное изменение показателя преломления слоя 120 преобразования. На первый луч 116 будут влиять локальные изменения показателя преломления. Второй луч 118 защищен от электромагнитного излучения и, таким образом,

остается незатронутым. При рекомбинации первый луч 116 и второй луч 118 вызывают интерференционную картину в плоскости регистрации 122 интерферометра. Следует понимать, что интерференционная картина будет включать в себя локальные помехи по площади поперечного сечения объединенного луча. Локальные помехи представляют изображение электромагнитного излучения в плоскости 107 изображения. «Холодный палец» 196 помещают на границе раздела между слоем 120 преобразования и окном 105. «Холодный палец» 196 может создавать разницу температур между окном 104 и окном 105. «Холодный палец» 196 соединен с внешним термоэлектрическим охладителем 198. В этом примере устройство 100 включает в себя детектор 124, такой как цифровая видеокамера, например, КМОП (CMOS) камера, для захвата изображения интерференционной картины в плоскости регистрации 122. В результате устройство 100 может преобразовывать изображение невидимого электромагнитного излучения в плоскости 107 изображения в видимое изображение в плоскости регистрации 122 или на устройстве отображения 126, соединенным с детектором 124.

[061] В этом примере слой 120 преобразования включает в себя первую область 128, на которой отображается объект, и вторую область 130, которая экранирована от электромагнитного излучения, например, с использованием крышки 131. Крышка 131 может быть фиксированной или подвижной. Когда она подвижна, она может закрывать первую область 128 и вторую область 130, таким образом, что внешнее электромагнитное излучение блокируется. Крышка 131 может быть использована в качестве механического прерывателя, обеспечивающего фазочувствительную регистрацию. Первый луч 116 включает в себя две части. Часть зондирующего луча 116A моделирует первую область. Часть компенсационного луча 116B моделирует вторую область 130. Это генерирует две части изображения в плоскости регистрации 122. Первая область 122A соответствует зондирующему лучу 116A, вторая область 122B соответствует компенсационному лучу 116B. Следует понимать,

что, поскольку компенсационный луч моделирует вторую область, экранированную от электромагнитного излучения, компенсационный луч не подвергается воздействию электромагнитного излучения. Тем не менее, на компенсационный луч могут влиять факторы окружающей среды, такие как температура, влажность и т.п. Следовательно, компенсационный луч 116B может использоваться для генерирования компенсационного сигнала, который будет использоваться для компенсации зондирующего сигнала для таких факторов окружающей среды. В этом примере устройство 100 включает в себя процессор 132, предназначенный для автоматической компенсации изображения первой области 122A изображения на плоскости регистрации 122, записанного детектором, с использованием сигнала, такого как средняя интенсивность сигнала интерферометра во второй области 122B на плоскости регистрации 122.

[062] В этом примере источник 112 света включает в себя модулятор 112A для модуляции оптической фазы источника света. Это позволяет снимать последовательные показания, такие как изображения, детектором на взаимно различных оптических фазах источника 112 света. Это также известно как интерферометрия с фазовым сдвигом. Критические части установки могут быть размещены в вакуумной камере 195. В вакуумной камере 195 можно регулировать температуру с помощью термоэлектрического охладителя 198.

[063] Слой преобразования может быть твердым телом, жидкостью, газом или их комбинацией, например, полимер или коллоидная суспензия. Слой преобразования можно разместить между двумя окнами. Слой преобразования может, например, размещаться в узком пространстве, например, на ширине 1–100 мкм между двумя окнами. Два окна могут быть соединены по периметру для образования полости между окнами. Полость может легко вместить слой преобразования, если он представляет собой жидкость, газ или их смесь. Внешнее из двух окон может, например, формировать входное окно устройства.

[064] Используют сбалансированную установку, в которой один объем в слое преобразования освещается излучением от объекта, а другой объем не освещается излучением от объекта. Оба объема одновременно освещаются первым лучом. Интерферометрические данные из обоих объемов используют для регистрации разницы в показателе преломления и, таким образом, для определения распределения температуры объекта на основе уравнения:

$$d\,n(x,y,z;t) = \frac{\partial n(x,y,z;t)}{\partial T}\,d\,T(x,y,z;t).$$

[065] Восстановление распределения температуры на изображении объекта позволяет визуализировать распределение температуры объекта. Интерферометрические данные могут быть собраны, например, с использованием фазового детектирования в интерферометре Майкельсона, в интерферометре Физо, в интерферометре Тваймана-Грина, в интерферометре Маха-Цендера, в интерферометре Фабри-Перо, в интерферометре поперечного сдвига, в интерферометре Джамина, фазовая регистрация в доплеровском или резонаторном зондировании. Во всех этих примерах интерферометрических установок, которые не являются исчерпывающим списком, изменение интерферометрических данных вызвано локальными изменениями температуры в объеме регистрации. На этих интерферограммах порядок интерференции $\Delta m(x, y)$ связан с длиной волны зондирующего луча λ, длиной пути света в образце L и изменением показателя преломления $\Delta n(x, y)$ в соответствии с уравнением:

$$\Delta m(x,y) = \frac{L}{\lambda}\Delta n(x,y). \qquad (5)$$

[066] Когда слой преобразования однороден, оптический путь измерительного плеча через слой преобразования одинаков для всех положений (x, y). В таком случае интерференционные полосы на интерферограмме прямые, а количество и их угол относительно произвольной оси определяют, например, по наклону наклоняемого зеркала в другом, опорном плече интерферометра. Таким образом,

интерференционные полосы эквидистантны, и для данного *y* порядок интерференции *k(x, y_0)* является периодической функцией. Решение уравнения для показателя преломления *n(x, y, z)* дает уравнение:

$$n^2(x,y,z) = \frac{2K\rho(x,y,z)+1}{1-K\rho(x,y,z)}. \quad (6)$$

[067] Длина оптического пути *OPL* основана на принципе Ферма и определяется линейным интегралом вдоль пути от A до B:

$$OPL = \int_A^B n(s)ds, \quad (7)$$

где *s* является параметром на световом пути.

[068] Можно получить уравнение:

$$\Psi(x,y;t) = \frac{4\pi}{\lambda}\int_{path} \Delta n(x,y,z;t)\, ds,$$

где $\Psi(x,y;t)$ является переменной фазой на интерферограмме в момент времени *t* и z является координатой вдоль оптической оси интерферометра, а (x, y) являются координатами в поперечном направлении к оптической оси интерферометра. Интерферограмма обычно имеет плотность потока излучения I (x, y; t), определяемую уравнением:

$$I(x,y;t) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\, cos$$

$$[(\varphi_A - \varphi_B) - \Psi(x,y;t)],$$

где I_1 является плотностью потока излучения в опорном плече, а I_2 является плотностью потока излучения в измерительном плече. В качестве примера интерферометрию со сдвигом фазы (PSI) используют для повышения точности измерения фазы. Для этой цели было описано множество алгоритмов (см. Optical Shop Testing, Daniel Malacara, 3rd Edition). Классическим алгоритмом является четырехступенчатая PSI. В этом алгоритме захватывают четыре интерферограммы $I_1(x, y)$, $I_2(x, y)$, $I_3(x, y)$ and $I_4(x, y)$ с соответствующими фазовыми сдвигами 0, *п*/2, *п* and 3*п*/2, где *(x, y)* измеряют в плоскости, поперечной распространению зондирующего луча. Пространственное распределение свернутой фазы *ψ(x, y)* восстанавливают с помощью уравнения:

$$\psi(x,y) = arctan\left(\frac{I_4(x,y) - I_2(x,y)}{I_1(x,y) - I_3(x,y)}\right). \quad (8)$$

[069] В случае алгоритма Харихарана получается 5 интерферограмм для свернутой фазы $\psi(x,y)$ в уравнении:

$$\psi(x,y) = arctan\left(\frac{2(I_2(x,y) - I_4(x,y))}{(2I_3(x,y) - I_5(x,y) - I_1(x,y))}\right).$$

[070] Известно, что алгоритм Харихарана более устойчив к ошибкам, чем четырехэтапный алгоритм.

[071] Процессор 132 может быть предназначен для выполнения вычислений, необходимых для интерферометрии со сдвигом фазы. Источник света, представляющий собой модулированный по току лазерный диод 112, может быть синхронизирован с детектором, представляющим собой цифровую камеру 124 для интерферометрии со сдвигом фазы.

[072] Фазосдвигатель может соответствовать разному типу, например, ток лазерного диода зондирующего луча может модулироваться. Могут использовать другие фазосдвигатели, основанные на поляризации излучения зондирующего луча, например, с использованием линейно поляризованного света, где поляризация поворачивается волновыми пластинами, так что полученный фазовый сдвиг составляет 90 градусов. Связь эффективного показателя преломления $n_{eff}(x, y)$ и измеренного пространственного распределения фазы $\varphi(x, y)$ задается уравнением:

$$\varphi(x,y) = n_{eff}(x,y)kL, \qquad (9)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ является модулем волнового вектора зондирующего луча, λ_0 является длиной волны в вакууме зондирующего луча и L является толщиной в направлении z слоя 120 преобразования. Из-за периодических характеристик интерферирующих волн, свернутая фаза в определенной точке $\varphi(x, y)$ однозначно определяется только в диапазоне главных значений (-п, п). Поэтому алгоритмы развертывания фазы могут использовать для генерирования непрерывной фазы $\varphi(x, y)$,

где связь со свернутой фазой:

$$\varphi(x,y) = \psi(x,y) - 2\pi\left[\frac{\psi(x,y)}{2\pi}\right], \quad (10)$$

где символ $[x]$ означает ближайшую целую функцию от x.

[073] Как показано на фиг. 7 устройство, описанное со ссылкой на фиг. 1, можно использовать в способе 200 для отображения, например, невидимого, электромагнитного излучения от объекта следующим образом. На этапе 201 изображение электромагнитного излучения объекта отображается на плоскости изображения, при этом плоскость изображения находится в детекторном плече интерферометра. На этапе 202 электромагнитное излучение преобразуют в пространственно-временное изменение показателя преломления слоя преобразования в плоскости изображения для побуждения образования пространственно-временных оптических разностей фаз в измерительном плече интерферометра, представляющих изображение объекта. На этапе 203 генерируют видимое изображение, представляющее изображение объекта, на основе оптических разностей фаз.

[074] При необходимости на этапе 204 в измерительном плече интерферометра в местоположении плоскости изображения генерируют компенсационный сигнал путем экранирования части измерительного плеча от электромагнитного излучения. При необходимости на этапе 205 генерируют множество видимых изображений, при этом фаза света подсветки интерферометра различается между отдельными изображениями множества видимых изображений, а на необязательном этапе 206 генерируют одно видимое изображение на основе множества видимых изображений.

[075] Схема на фиг. 2 показывает примерную компоновку устройства. Зондирующий луч проходит только один раз через слой 120 преобразования. Фиг. 2 показывает объект 101, излучающий электромагнитное излучение, которое собирается объективом 102, который создает изображение в плоскости 107 изображения. При этом

электромагнитное излучение зеркально отражается на границе раздела между светоделительным ромбоэдром 190 и входным призменным окном 104. Плоскость 107 изображения встроена в слой 120 преобразования. «Холодный палец» 196 помещают на границе раздела между слоем 120 преобразования и выходным призменным окном 105. Изображение формируют в измерительном объеме слоя 120 преобразования. Слой 120 преобразования помещают между входным призменным окном 104 и выходным призменным окном 105. Излучение источника света, в данном случае лазерного диода 112, действует как зондирующий луч, где коллиматор 115 собирает излучение лазерного диода 112, таким образом, что оно подсвечивает слой 120 преобразования, по меньшей мере квази, параллельным излучением. Коллимированное излучение лазерного диода 112 разделяют первым светоделительным ромбоэдром 170 и светоделительной призмой 103 на два луча. Один луч распространяется через второй светоделительный ромбоэдр 180 по направлению к входному призменному окну 104 и продолжается к слою 120A преобразования, а другой луч распространяется через компенсационное плечо интерферометра 106 Маха-Цендера вдоль второго светоделительного ромбоэдра 180 в направлении компенсационного объема 120B и продолжается таким образом, что он зеркально отражается от поверхностей третьего светоделительного ромбоэдра 175. Луч измерительного плеча и опорного плеча объединяют на границе раздела между выходным призменным окном 105 и третьим светоделительным ромбоэдром 175. Светопоглощающий материал 199 может быть приклеен к выходной призме 105 для подавления паразитного света. Комбинированный луч проходит через объектив 140, который создает изображение границы раздела между входным призменным окном 104 и слоем 120 преобразования детектора на, в данном случае, например, КМОП (CMOS) формирователе 124 изображения. Сигнал формирователя 124 изображения обрабатывают блоком 132 и впоследствии визуализируют на дисплее 126. Блок 132 обработки и драйвер лазерного диода 112A синхронизируют внутренними часами. Критические части установки могут быть помещены

в вакуумную камеру 195. В вакуумной камере 195 можно регулировать температуру с помощью термоэлектрического охладителя 198. Сигналы термоэлектрического охладителя 198 управляются блоком 132 обработки.

[076] Схема на фиг. 3 показывает примерную компоновку устройства. Зондирующий луч проходит только один раз через слой 120 преобразования. Фиг. 3 показывает объект 101, излучающий электромагнитное излучение, которое собирается объективом 102, который создает изображение в плоскости 107 изображения. При этом электромагнитное излучение зеркально отражается на границе раздела между светоделительным ромбоэдром 190 и входным призменным окном 104. Плоскость 107 изображения встроена в слой 120 преобразования. «Холодный палец» 196 помещают на границе раздела между слоем 120 преобразования и выходным окном 105. Изображение формируют в измерительном объеме слоя 120 преобразования. Слой 120 преобразования помещают между входным призменным окном 104 и выходным окном 105. Излучение источника света, в данном случае лазерного диода 112, действует как зондирующий луч, когда коллиматор 115 собирает излучение лазерного диода 112, таким образом, что он подсвечивает слой 120 преобразования, по меньшей мере квази-, параллельным излучением. Слой 120 преобразования в этом примере содержит в себе два объема: один измерительный объем 120A и один компенсационный объем 120B. Оба объема изначально имеют одинаковую температуру. Коллимированное излучение лазерного диода 112 зеркально отражается от параллельной пластины 192 двумя лучами. Один луч формируется отражением на передней поверхности параллельной пластины 192, а другой луч формируется на задней поверхности параллельной пластины 192. Зеркально отраженные лучи сдвигаются в поперечном направлении относительно друг друга в интерферометре 106 поперечного сдвига. Оба луча проходят через объектив 140, который создает два срезанных изображения границы раздела между входным призменным окном 104 и слоем 120

преобразования на, например, КМОП (CMOS) формирователе 124 изображения. В области перекрытия двух лучей наблюдают интерференционную картину. Эта интерференционная картина воспринимается формирователем 124 изображения и затем обрабатывается блоком 132 обработки. Блок 132 обработки передает данные, которые должны быть визуализированы, на дисплей 126. Блок 132 обработки и драйвер лазерного диода 112A синхронизируют внутренними часами. Критические части установки могут быть помещены в вакуумную камеру 195. В вакуумной камере 195 можно регулировать температуру с помощью термоэлектрического охладителя 198. Сигналы термоэлектрического охладителя 198 управляются блоком 132 обработки.

[077] Схема на фиг. 4 показывает примерную компоновку устройства. Зондирующий луч дважды проходит через слой 120 преобразования. Фиг. 4 показывает объект 101, излучающий электромагнитное излучение, которое собирается объективом 102, который создает изображение в плоскости 107 изображения. Плоскость 107 изображения встроена в слой 120 преобразования. «Холодный палец» 196 помещают на границе раздела между слоем 120 преобразования и окном 105. Изображение формируется в измерительном объеме слоя 120 преобразования. Слой 120 преобразования помещают между входным окном 104 и выходным окном 105. Крышку 131 помещают перед входным окном 104 для предотвращения попадания электромагнитного излучения в компенсационный объем слоя 120 преобразования. Крышка 131 может быть фиксированной или подвижной. Когда она подвижна, она может закрывать первую область 128 и вторую область 130, таким образом, что внешнее электромагнитное излучение блокируется. Крышка 131 может быть использована в качестве механического прерывателя, обеспечивающего фазочувствительную регистрацию. Излучение лазерного диода 112 действует как зондирующий луч, где коллиматор 115 собирает излучение лазерного диода 112 таким образом, что оно

подсвечивает слой 120 преобразования, по меньшей мере квази, параллельным излучением. Коллимированное излучение лазерного диода 112 зеркально отражается на границе раздела между слоем 120 преобразования и входным окном 104. Зеркально отраженное излучение отклоняется светоделителем 155 к объективу 140, который создает изображение границы раздела между входным окном 104 и слоем 120 преобразования на, например, КМОП (CMOS) формирователе 124 изображения. Установка известна как интерферометр 106 Физо. Сигнал формирователя 124 изображения обрабатывается блоком 132 обработки и затем визуализируется на дисплее 126. Блок 132 обработки и драйвер 112A лазерного диода синхронизируют внутренними часами. Критические части установки могут быть помещены в вакуумную камеру 195. В вакуумной камере 195 можно регулировать температуру с помощью термоэлектрического охладителя 198. Сигналы термоэлектрического охладителя 198 управляются блоком 132 обработки.

[078] Схема на фиг. 5 показывает примерную компоновку устройства. Зондирующий луч дважды проходит через слой 120 преобразования. Фиг. 5 показывает объект 101, излучающий электромагнитное излучение, которое собирается объективом 102, который создает изображение в плоскости 107 изображения. Плоскость 107 изображения встроена в слой 120 преобразования. «Холодный палец» 196 помещают на границе раздела между слоем 120 преобразования и выходным окном 105. Изображение формируется в измерительном объеме слоя 120 преобразования. Слой 120 преобразования помещают между входным окном 104 и выходным окном 105. Крышку 131 помещают перед входным окном 104 для предотвращения попадания электромагнитного излучения в компенсационный объем слоя 120 преобразования. Крышка 131 может быть фиксированной или подвижной. Когда она подвижна, она может закрывать первую область 128 и вторую область 130, таким образом, что внешнее электромагнитное излучение блокируется. Крышка 131 может

быть использована в качестве механического прерывателя, обеспечивающего фазочувствительную регистрацию. Излучение источника света, в данном случае лазерного диода 112, действует как зондирующий луч, где коллиматор 115 собирает излучение лазерного диода 112 таким образом, что оно подсвечивает слой 120 преобразования, по меньшей мере квази, параллельным излучением. Коллимированное излучение лазерного диода 112 разделяют светоделительным кубом 160 на два луча. Один распространяется на слой 120 преобразования, а другой распространяется на зеркальную поверхность 150 светоделительного куба 160. В опорном плече неполяризующего интерферометра 106 мы обнаруживаем оптический эквивалент выходного окна 152, оптический эквивалент слоя 151 преобразования. Эти оптические эквиваленты могут создать равноплечий интерферометр вместо номинального неравноплечего интерферометра, где оптические эквиваленты 152 и 151 отсутствуют, и где зеркало 150 напыляют на одной из сторон светоделительного куба 160. Зеркально отраженный луч на границе раздела между слоем 120 преобразования и входным окном 104 снова делится светоделительным кубом 160, где один луч направляется к объективу 140, который создает изображение границы раздела между входным окном 104 и слоем 120 преобразования на, например, КМОП (CMOS), формирователе 124 изображения. Сигнал формирователя 124 изображения обрабатывается блоком 132 обработки и затем визуализируется на дисплее 126. Блок 132 обработки и драйвер лазерного диода 112A синхронизируют внутренними часами. Критические части установки могут быть помещены в вакуумную камеру 195. В вакуумной камере 195 можно регулировать температуру с помощью термоэлектрического охладителя 198. Сигналы термоэлектрического охладителя 198 управляются блоком 132 обработки.

[079] Схема на фиг. 6 показывает примерную компоновку устройства. Зондирующий луч дважды проходит через слой 120 преобразования. Фиг. 6 показывает объект 101, излучающий

электромагнитное излучение, которое собирается объективом 102, который создает изображение в плоскости 107 изображения. Плоскость 107 изображения встроена в слой 120 преобразования. «Холодный палец» 196 помещают на границе раздела между слоем 120 преобразования и выходным окном 105. Изображение формируется в измерительном объеме слоя 120 преобразования. Слой 120 преобразования помещают между входным окном 104 и выходным окном 105. Крышку 131 помещают перед входным окном 104 для предотвращения попадания электромагнитного излучения в компенсационный объем слоя 120 преобразования. Крышка 131 может быть фиксированной или подвижной. Когда она подвижна, она может закрывать первую область 128 и вторую область 130, таким образом, что внешнее электромагнитное излучение блокируется. Крышка 131 может быть использована в качестве механического прерывателя, обеспечивающего фазочувствительную регистрацию. Излучение источника света, в данном случае лазерного диода 112, действует как зондирующий луч, когда коллиматор 115 собирает излучение лазерного диода 112, таким образом, что он подсвечивает слой 120 преобразования, по меньшей мере квази, параллельным излучением. Коллимированное излучение лазерного диода 112 разделяют поляризующим светоделительным кубом 161 на два луча. Один распространяется через четвертьволновую пластину 127 по направлению к слою 120 преобразования, а другой распространяется на зеркальную поверхность 150 поляризующего светоделительного куба 161. В опорном плече поляризующего интерферометра 106 мы обнаруживаем оптический эквивалент четвертьволновой пластины 153, оптический эквивалент выходного окна 152, оптический эквивалент слоя 151 преобразования. Эти оптические эквиваленты могут создать равноплечий интерферометр вместо номинального неравноплечего интерферометра, где оптические эквиваленты 153, 152 и 151 отсутствуют и где зеркало 150 напыляют на одной из граней поляризующего светоделительного куба 161. Зеркально отраженный луч на границе раздела между слоем 120 преобразования и входным окном

104 проходит второй раз через четвертьволновую пластину 127 и снова разделяется поляризующим светоделительным кубом 161, в котором один луч направляется в сторону КМОП (CMOS) объектива 140, который создает изображение на границе раздела между входным призменным окном 104 и слоем 120 преобразования на, например, КМОП, формирователе 124 изображения. Сигнал формирователя 124 изображения обрабатывается блоком 132 обработки и затем визуализируется на дисплее 126. Блок 132 обработки и драйвер лазерного диода 112A синхронизируют внутренними часами. Установка известна как интерферометр 106 Тваймана-Грина. Критические части установки могут быть размещены в вакуумной камере 195. В вакуумной камере 195 можно регулировать температуру с помощью термоэлектрического охладителя 198. Сигналы термоэлектрического охладителя 198. Электрический охладитель 198 управляется блоком 132 обработки.

[080] Фиг.8 показывает пример устройства 100, выполненного как подключаемое устройство для мобильного устройства 200, в данном примере смартфона. В этом примере подключаемое устройство является устройством с защелкой. Также возможно, что подключаемое устройство установлено на мобильное устройство иным образом, например, через адгезивное соединение. Следует понимать, что также возможно, что подключаемое устройство является частью или входит в состав чехла для мобильного устройства 200. В этом примере формирователь изображения образован цифровой камерой 224 мобильного устройства 200. Таким образом, цифровая камера 224 может отображать интерференционное изображение, созданное интерферометром. Цифровая камера 224 обрабатывается блоком 232 обработки мобильного устройства и затем визуализируется на дисплее 226 мобильного устройства. При желании возможна синхронизация источника 112 света устройства 100 с камерой 224 мобильного устройства 200, например, через проводной или беспроводной канал связи.

[081] Здесь изобретение описано со ссылкой на конкретные примеры вариантов осуществления изобретения. Однако будет очевидно, что в него могут быть внесены различные модификации и изменения, не выходящие за рамки сущности изобретения.

[082] В примерах компенсационный объем или вторую область слоя преобразования помещают в измерительное плечо интерферометра. Также возможно, что компенсационный объем или вторая область слоя преобразования помещается в опорное плечо интерферометра. Предпочтительно, что компенсационный объем или вторая область слоя преобразования все еще находится в тепловом контакте с измерительным объемом или первой областью слоя преобразования.

[083] Для ясности и краткого описания признаки описаны здесь как часть тех же или отдельных вариантов осуществления, однако альтернативные варианты осуществления, имеющие комбинации всех или некоторых функций, описанных в этих отдельных вариантах осуществления, также предусмотрены и считаются подпадающими под рамки изобретения, как указано в формуле изобретения. Спецификации, рисунки и примеры, соответственно, следует рассматривать в иллюстративном смысле, а не в ограничительном смысле. Изобретение предназначено для охвата всех альтернатив, модификаций и вариаций, которые попадают в сущность и объем прилагаемой формулы изобретения. Кроме того, многие из описанных элементов являются функциональными объектами, которые могут быть реализованы как дискретные или распределенные компоненты или в сочетании с другими

[084] В формуле изобретения любые ссылочные позиции, помещенные в круглые скобки, не следует рассматривать как ограничивающие формулу изобретения. Слово «содержащий» не исключает наличия других функций или этапов, кроме перечисленных в формуле изобретения. Кроме того, употребление некоторых грамматических средств выражения единственного числа не следует

толковать как ограничение «только одним», а как обозначение «по меньшей мере один», не исключающее множественность. Сам факт того, что определенные меры изложены во взаимно различных пунктах формулы изобретения, не означает, что комбинация этих мер не может быть использована с выгодой.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для отображения электромагнитного излучения от объекта, включающее в себя:

- входную оптику, позволяющую электромагнитному излучению проникать в устройство, включая плоскость изображения, на которой предусмотрено отображение изображения объекта;

- интерферометр с измерительным плечом, при этом плоскость изображения находится в измерительном плече;

- слой преобразования в плоскости изображения для преобразования электромагнитного излучения в пространственно-временное изменение показателя преломления слоя преобразования для побуждения образования пространственно-временных оптических разностей фаз в измерительном плече интерферометра, представляющего изображение объекта.

2. Устройство по п. 1, в котором слой преобразования включает в себя часть, экранированную от электромагнитного излучения, для генерирования компенсационного сигнала из этой части.

3. Устройство по п.1 или 2, в котором экранированная часть расположена в плоскости изображения.

4. Устройство по любому из п. п. 1-3, в котором интерферометр представляет собой фазосдвигающий интерферометр.

5. Устройство по любому из п. п. 1-4, в котором источником излучения интерферометра является модулированный по току лазерный диод.

6. Устройство по любому из п. п. 1-5, включающее в себя цифровую камеру, выполненную с возможностью захвата интерференционного изображения, генерируемого интерферометром.

7. Устройство по п. п. 5 и 6, отличающееся тем, что модулированный по току лазерный диод синхронизирован с цифровой камерой.

8. Устройство по п. 6 или 7, включающее в себя блок обработки, выполненный с возможностью обработки сигнала цифровой камеры, такого как для отображения на устройстве отображения.

9. Устройство по любому из п. п. 1-8, в котором слой преобразования включает в себя твердое тело, жидкость, газ или любую их комбинацию.

10. Устройство по любому из п. п. 1-9, в котором слой преобразования содержит полимер.

11. Устройство по п. 10, в котором полимер представляет собой легированный полимер.

12. Устройство по любому из п. п. 1-11, в котором слой преобразования включает в себя жидкую смесь, такую как вода и гликоль.

13. Устройство по любому из п. п. 1-12, в котором слой преобразования включает в себя коллоидную суспензию.

14. Устройство по любому из п. п. 1-13, в котором слой преобразования размещен между двумя окнами.

15. Тепловизионная камера, включающая в себя устройство по любому из п. п. 1-14.

16. Камера ночного видения, включающая в себя устройство по

любому из п. п. 1-14.

17. Подключаемое устройство для мобильного устройства, такого как смартфон или планшетный компьютер, включающее в себя устройство по любому из п. п. 1-5 или 7-14, выполненное с возможностью взаимодействия с мобильным устройством, таким образом, что цифровая камера мобильного устройства захватывает интерференционное изображение, генерируемое интерферометром.

18. Способ отображения электромагнитного излучения от объекта, включающий следующие этапы:

- отображение изображения электромагнитного излучения объекта на плоскости изображения, при этом плоскость изображения находится в детекторном плече интерферометра;

- преобразование электромагнитного излучения посредством слоя преобразования в плоскости изображения в пространственно-временное изменение показателя преломления слоя преобразования для побуждения образования пространственно-временных оптических разностей фаз в измерительном плече интерферометра, представляющего изображение объекта; и

- генерирование видимого изображения, представляющего изображение объекта, на основе оптических разностей фаз.

19. Способ по п. 18, включающий этап:

- генерирования в интерферометре компенсационного сигнала путем экранирования части слоя преобразования от электромагнитного излучения.

20. Способ по п. 18 или 19, включающий:

- генерирование множества видимых изображений, при этом фаза света подсветки интерферометра различается между отдельными изображениями из множества видимых изображений; и

- генерирование единого видимого изображения на основе

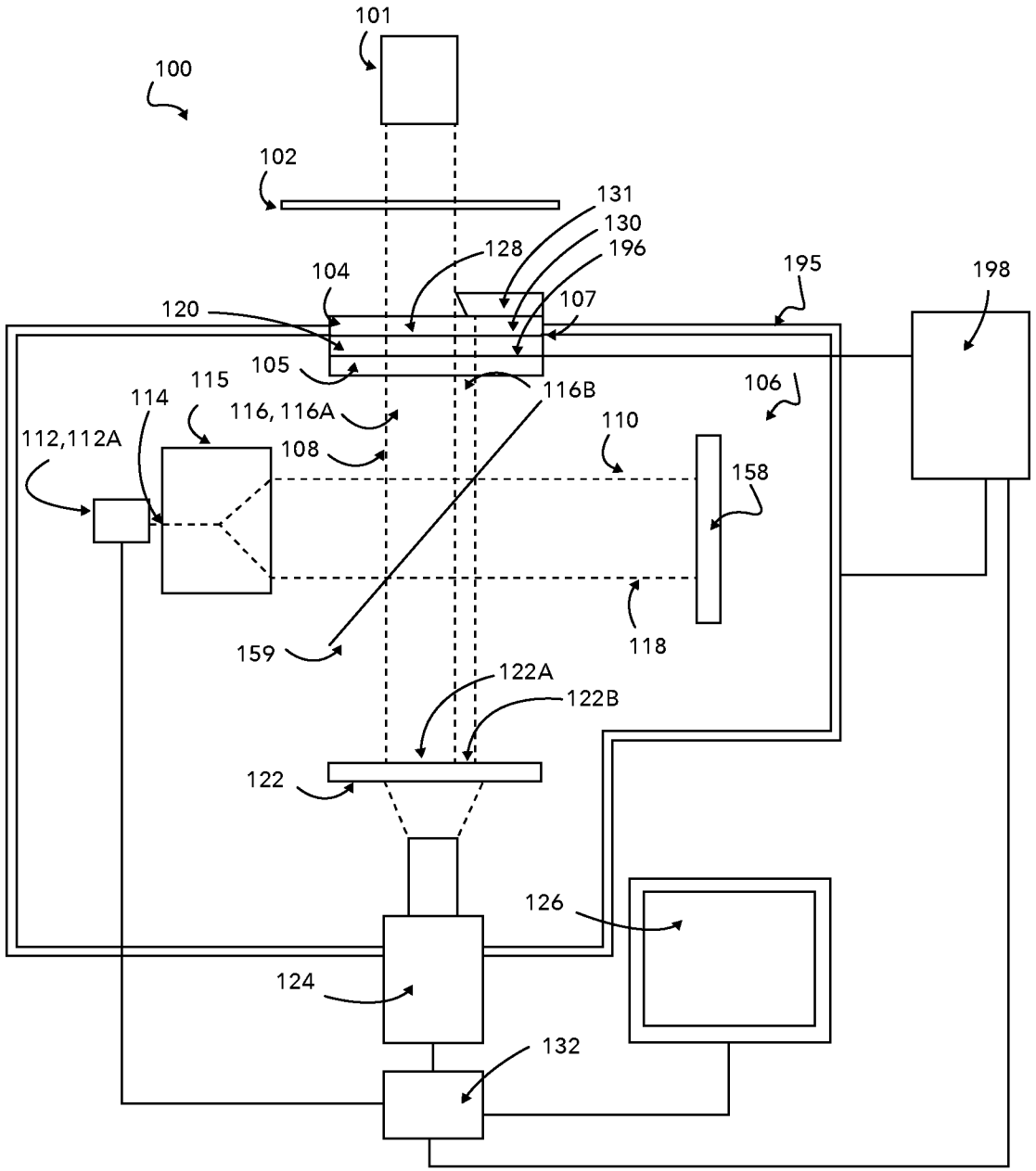
множества видимых изображений.

21. Способ по любому из п. п. 18-20, согласно которому слой преобразования включает в себя твердое вещество, жидкость, газ или любую их комбинацию.

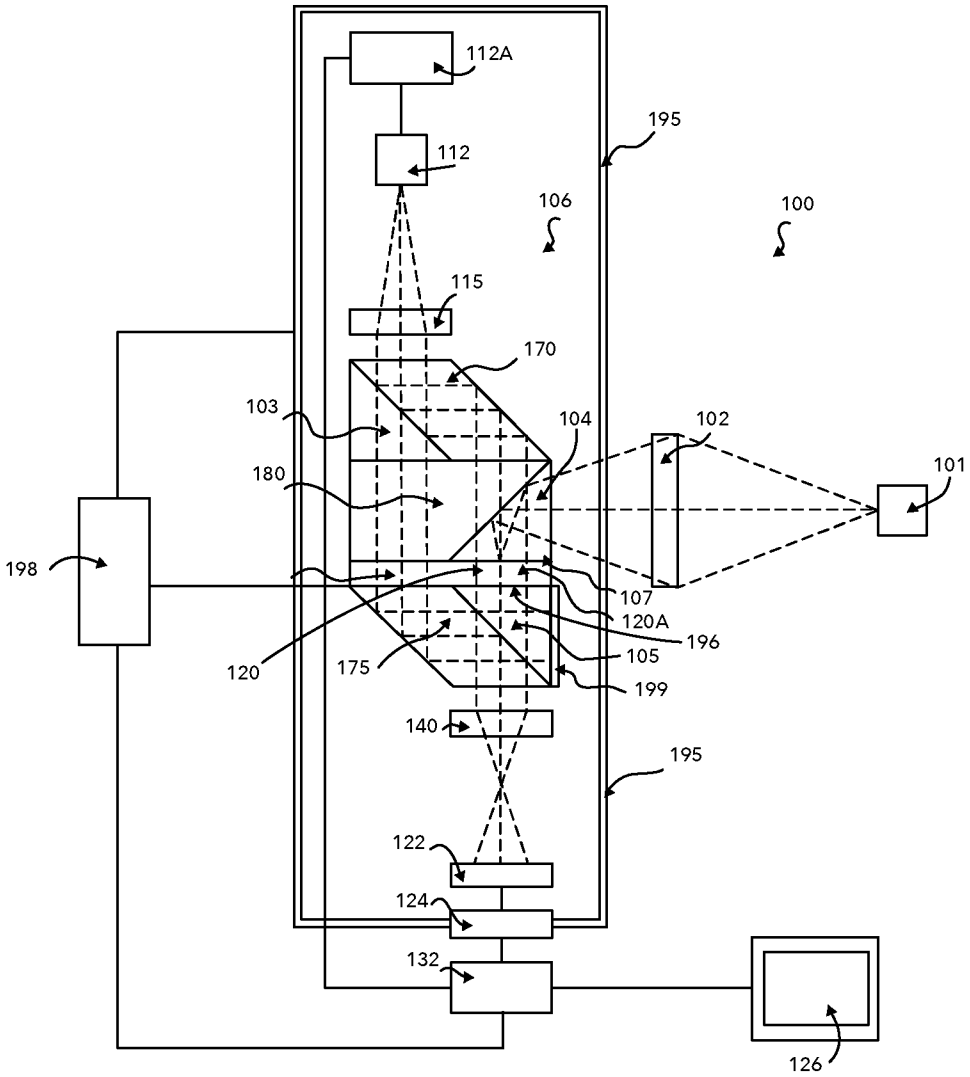
22. Способ по любому из п. п. 18-21, согласно которому слой преобразования содержит полимер, такой как легированный полимер.

23. Способ по любому из п. п. 18-22, согласно которому слой преобразования включает в себя коллоидную суспензию.

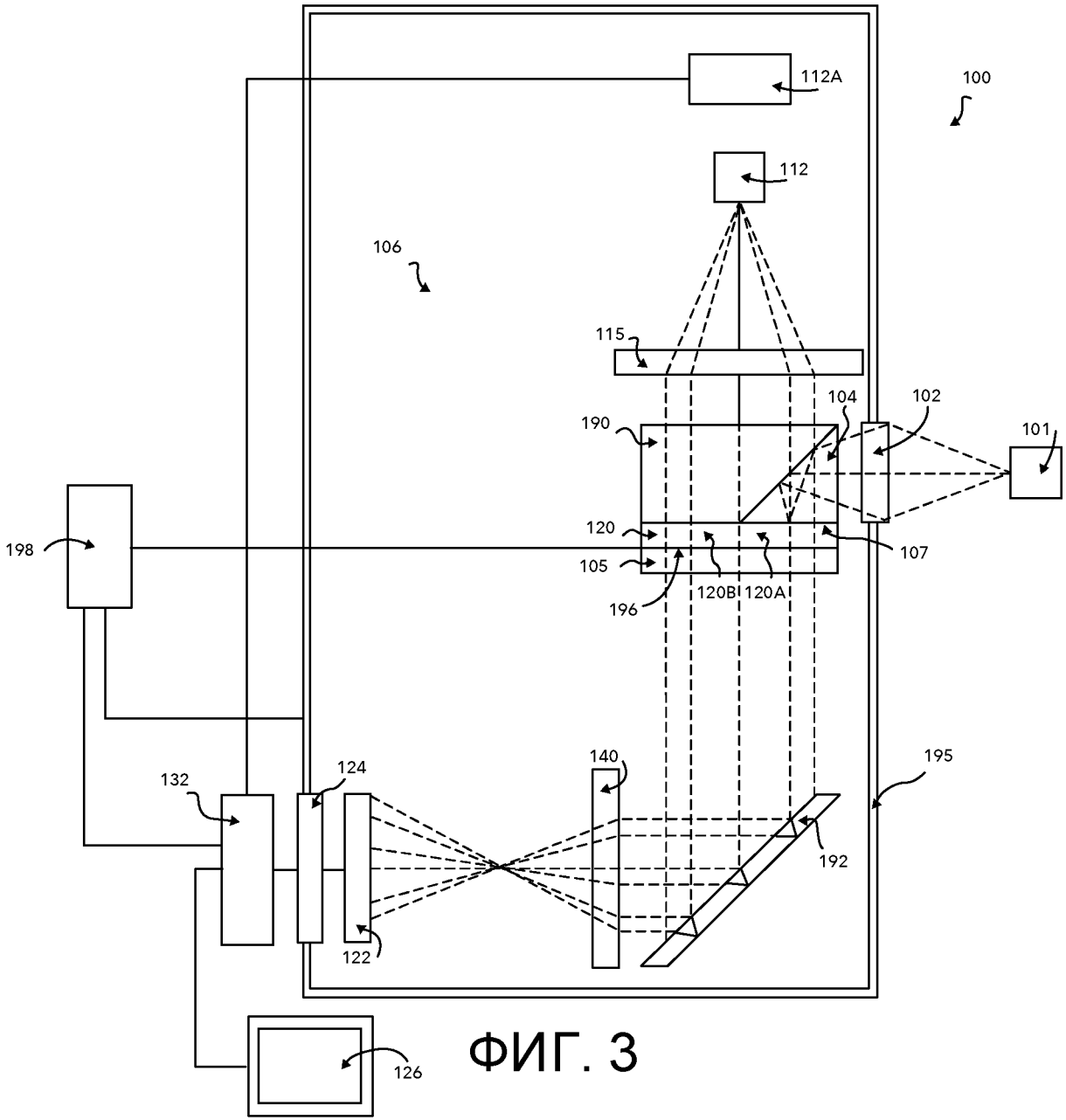
24. Компьютерный программный продукт, включающий в себя части программного кода, выполненные, при их исполнении на программируемом устройстве, с возможностью генерирования видимого изображения на основе интерференционного изображения, сгенерированного интерферометром устройства по любому из п. п. 1-15, камеры по п. 16 или 17 или подключаемого устройства по п. 18.


101
100
102
131
130
196
128
104
195
198
120
107
105
115
116B
106
114
116, 116A
110
112,112A
108
158
159
118
122A
122B
122
126
124
132

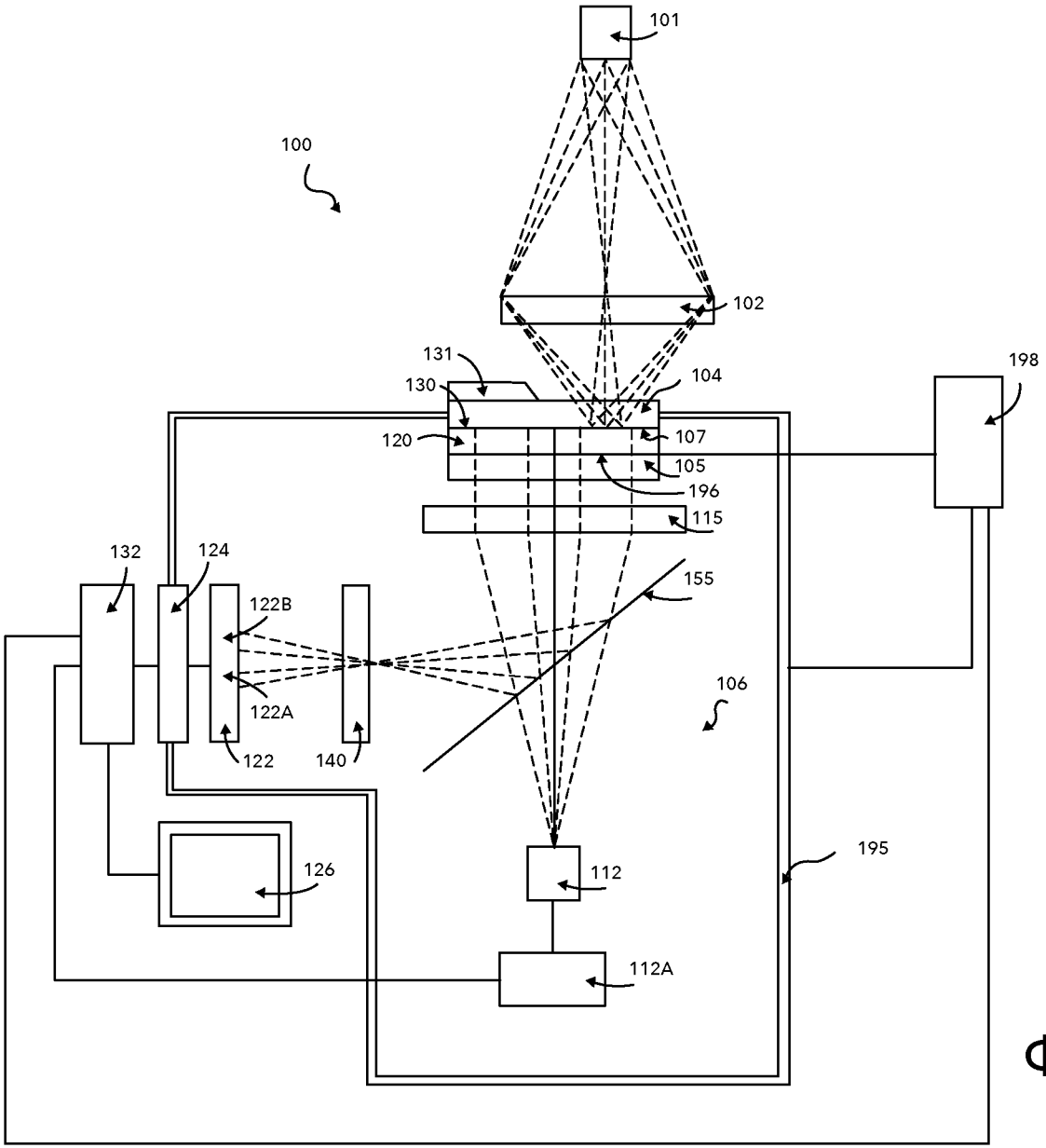
ФИГ. 1


112A
195
112
106
100
115
170
103
104
102
101
180
198
107
120A
196
120
175
105
199
140
195
122
124
132
126

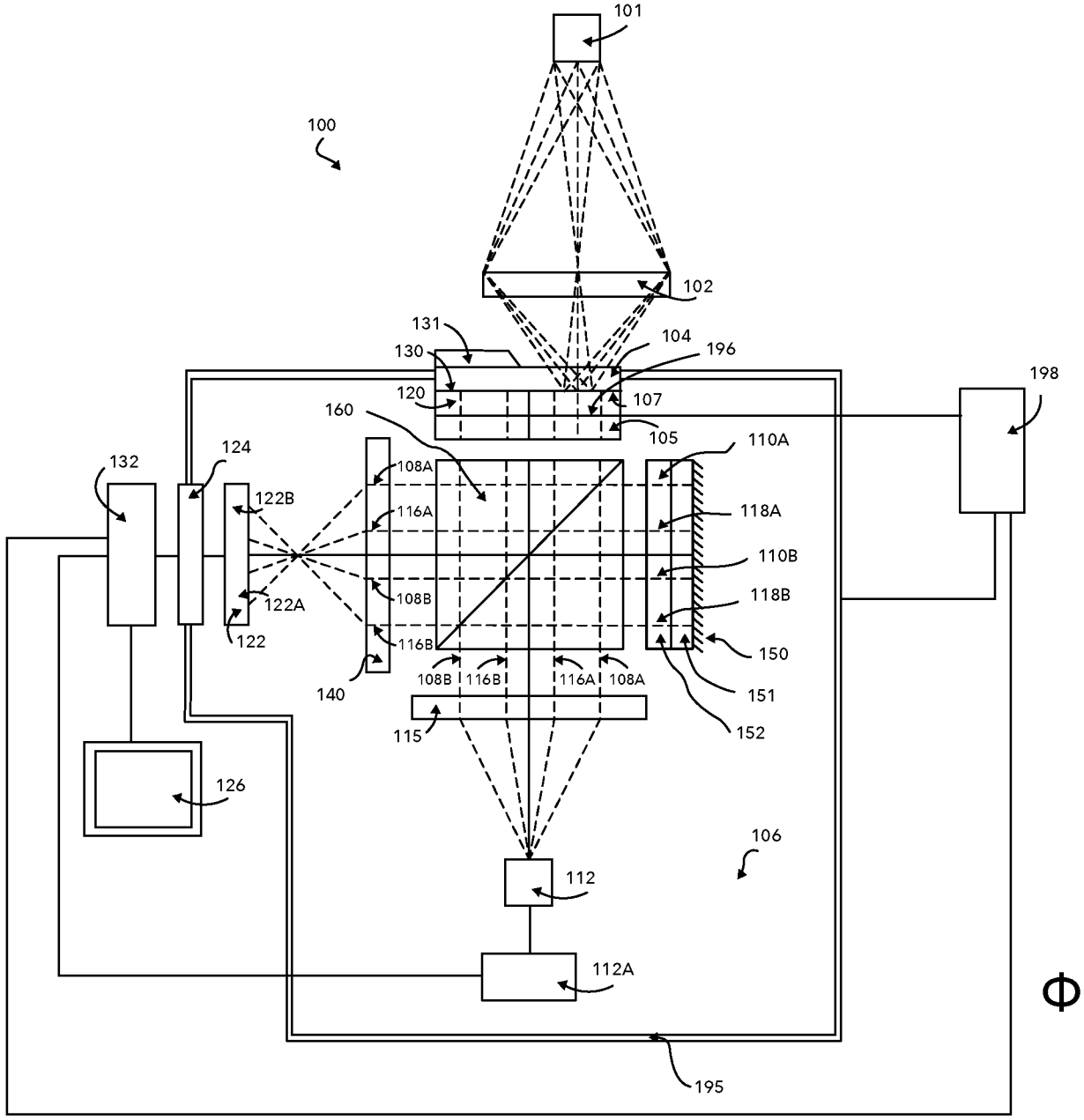
ФИГ. 2


112A
100
112
106
115
104
102
190
101
120
107
198
105
196
120B
120A
132
124
140
195
192
122
126

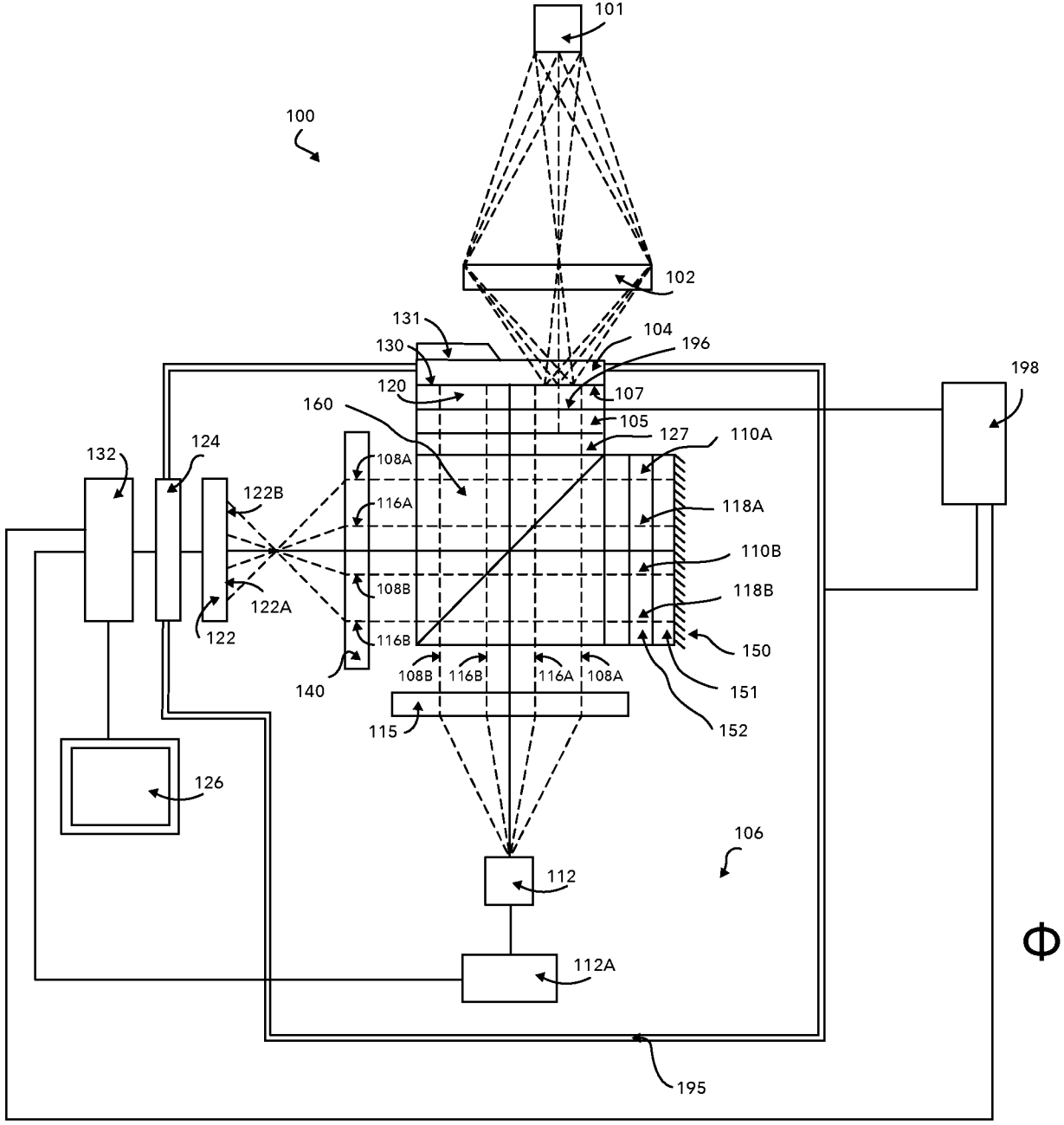
ФИГ. 3


100
101
102
131
130
104
198
120
107
105
196
115
132
124
122B
155
122A
106
122
140
126
112
195
112A

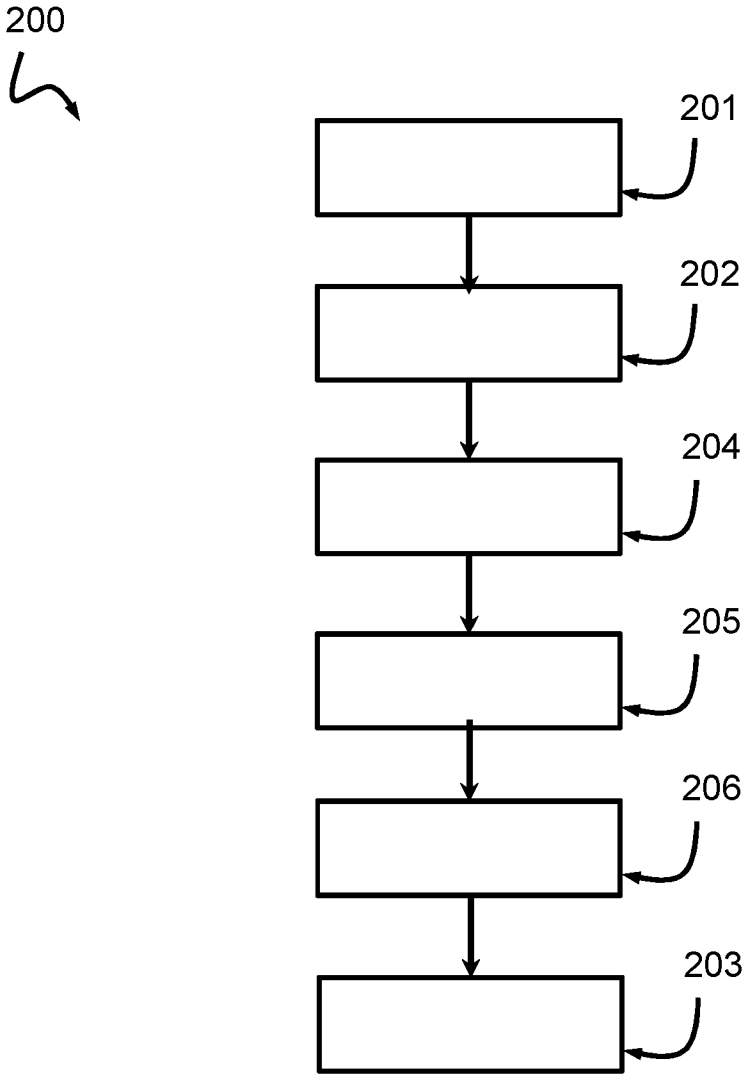
ФИГ. 4


101
100
102
131
130
104
196
120
107
160
105
198
110A
124
132
108A
122B
116A
118A
110B
108B
122A
118B
122
116B
150
140
108B
116B
116A
108A
151
115
152
126
106
112
112A
195

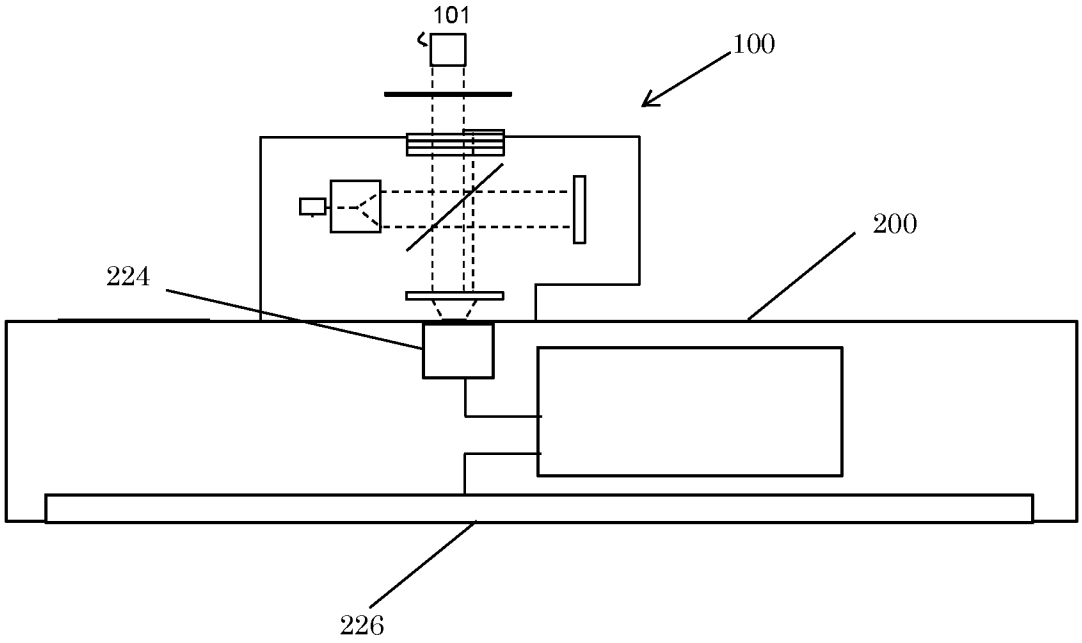
ФИГ. 5


101
100
102
131
130
104
196
198
120
107
160
105
127
110A
132
124
108A
122B
116A
118A
110B
108B
118B
122A
122
116B
150
140
108B
116B
116A
108A
151
115
152
126
106
112
112A
195

ФИГ. 6



ФИГ. 7



ФИГ. 8