

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040443**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.06.03

(51) Int. Cl. **G01R 33/00** (2006.01)
G01R 33/26 (2006.01)

(21) Номер заявки
202092876

(22) Дата подачи заявки
2020.12.23

(54) СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СПОСОБА

(31) **2020136301**

(56) US-A1-20200088813
WO-A2-2012038948
JP-A-2009162554
US-B2-8519705

(32) **2020.11.05**

(33) **RU**

(43) **2022.05.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО "СБЕРБАНК
РОССИИ" (ПАО СБЕРБАНК) (RU)**

(72) Изобретатель:
Бернадотт Александра Карл (RU)

(74) Представитель:
Герасин Б.В. (RU)

(57) Представленное техническое решение относится, в общем, к области измерительной техники, в частности к способу регистрации магнитного поля и устройству для осуществления способа. Техническое решение может быть использовано для создания различных магнитометрических приборов в таких областях, как биомедицина, промышленность, научное приборостроение и пр. Устройство регистрации магнитного поля может представлять собой, например, носимый на голове человека прибор - мультиплоскостной магнитометр. Техническим результатом является повышение чувствительности регистрации магнитных полей. Указанный технический результат достигается благодаря осуществлению способа регистрации магнитного поля, содержащего этапы, на которых посредством светового сигнала, сгенерированного лазером накачки, выполняют оптическую накачку по меньшей мере двух ячеек градиометра; пропускают через упомянутые ячейки градиометра лучи света, сгенерированные пробным лазером; фиксируют посредством поляриметров величины деполяризованной компоненты лучей света, прошедших через ячейки градиометра, характеризующие величину магнитного поля в области ячеек градиометра; регистрируют посредством вычислительного устройства величины деполяризованной компоненты лучей света, зафиксированных на предыдущем этапе.

040443 B1

040443 B1

Область техники

Представленное техническое решение относится, в общем, к области измерительной техники, в частности к способу регистрации магнитного поля и устройству для осуществления способа. Техническое решение может быть использовано для создания различных магнитометрических приборов в таких областях, как биомедицина, промышленность, научное приборостроение и пр.

Уровень техники

В настоящее время в уровне техники известны различные устройства, предназначенные для измерения напряженности магнитного поля или градиента магнитного поля.

В частности, известен атомный магнитометр, раскрытый в патенте US 8405389 B2, опубл. 26.03.2013. Раскрываемый атомный магнитометр включает в себя источник света для зондирующего луча и среду, в которой должен распространяться зондирующий луч. Среда представляет собой вещество, которое изменяет угол поворота поляризации зондирующего луча в зависимости от напряженности магнитного поля в первой позиции измерения и напряженности магнитного поля во второй позиции измерения, отличной от первой позиции измерения. Атомный магнитометр непосредственно измеряет разницу между напряженностью магнитного поля в первой позиции измерения и интенсивностью магнитного поля во второй позиции измерения как разность угла поворота поляризации вдоль пути распространения зондирующего пучка. Также известен атомный магнитометр, раскрытый в патенте US 8054074 B2, опубл. 08.11.2011. Данный атомный магнитометр включает ячейку, содержащую атомную группу, источник света накачки, зондирующий источник света, зеркало и детектор. Ячейка расположена между источником света накачки и зеркалом, а также между зондирующим источником света и детектором. Луч накачки, излучаемый источником света накачки, представляет собой свет с круговой поляризацией. Луч накачки проходит через ячейку и отражается зеркалом, а затем снова проходит через ячейку. Зондирующий луч, излучаемый зондирующим источником света, представляет собой линейно поляризованный свет. Оптический путь зондирующего луча параллелен плоскости падения луча накачки, а также параллелен поверхности зеркала. Оптический путь зондирующего луча пересекает оптический путь луча накачки в ячейке. Зондирующий луч, прошедший через ячейку, попадает в детектор. Существенным недостатком известных решений является то, что они не распознают магнитное поле малой величины, например, излучаемое мозгом человека, если ось градиометра размещена вдоль местного вектора магнитного поля Земли. Также существующие магнитометры и решения на другом физическом эффекте, предназначенные для регистрации магнитных полей мозга человека, имеют значительно меньшую разрешающую способность, требуют значительного охлаждения (криогенных элементов большого объема и энергозатрат) и, как следствие, не имеют перспектив быть носимым (или миниатюрным) устройством и требуют больших финансовых затрат.

Сущность технического решения

Технической проблемой или технической задачей, поставленной в данном техническом решении, является создание нового эффективного, простого и надежного способа регистрации статичного и/или перемещающегося магнитного поля малой и средней величины, например, излучаемого мозгом человека, в условиях магнитного поля Земли и других статичных (например, технических) шумов, а также устройства регистрации магнитного поля. Устройство регистрации магнитного поля может представлять собой, например, носимый на голове человека прибор - мультиплоскостной магнитометр. Техническим результатом, достигаемым при решении вышеуказанной технической проблемы, является повышение чувствительности регистрации магнитных полей. Дополнительными техническими результатами являются обеспечение возможности регистрации малых и средних по силе полей (например, поля мозга человека) в условиях внешнего магнитного статичного шума большей силы и возможности регистрации движущегося и/или статичного поля в условиях внешнего поля.

Указанный технический результат достигается благодаря осуществлению способа регистрации магнитного поля, содержащего этапы, на которых

посредством светового сигнала, сгенерированного лазером накачки, выполняют оптическую накачку по меньшей мере двух ячеек градиометра;

пропускают через упомянутые ячейки градиометра лучи света, сгенерированные пробным лазером;

фиксируют посредством поляриметров величины деполяризованной компоненты лучей света, прошедших через ячейки градиометра, характеризующие величину магнитного поля в области ячеек градиометра;

регистрируют посредством вычислительного устройства величины деполяризованной компоненты лучей света, зафиксированных на предыдущем этапе.

В одном из частных примеров осуществления способа для оптической накачки ячеек градиометра посредством акустико-оптического модулятора осуществляют импульсную подачу светового сигнала, сгенерированного лазером накачки, с длительностью импульса меньше периода прецессии для выбранного металла ячейки градиометра.

В другом частном примере осуществления способа посредством четвертьволновой пластинки осуществляют круговую поляризацию светового сигнала в пассивном режиме для оптической накачки упомянутых ячеек градиометра.

В другом частном примере осуществления способа посредством линейного поляризатора осуществляют поляризацию лучей света, сгенерированных пробным лазером.

В другом частном примере осуществления способа регистрацию величин деполяризованной компоненты лучей света осуществляют с трех градиометров, расположенных в трех ортогональных (или близких к ортогональным) плоскостях.

В другом частном примере осуществления способа ячейки градиометра содержат пары щелочного металла: рубидия или цезия и буферного инертного газа.

В другом частном примере осуществления способа дополнительно посредством акустико-оптического модулятора при поступлении светового сигнала направляют электрические сигналы на поляриметры для их синхронизации.

В другом предпочтительном варианте осуществления заявленного решения представлено устройство регистрации магнитного поля, содержащее по меньшей мере одно вычислительное устройство и по меньшей мере одно устройство памяти, содержащее машиночитаемые инструкции, которые при их исполнении по меньшей мере одним вычислительным устройством выполняют вышеуказанный способ.

Краткое описание чертежей

Признаки и преимущества настоящего технического решения станут очевидными из приводимого ниже подробного описания изобретения и прилагаемых чертежей, на которых:

на фиг. 1 представлена общая схема взаимодействия элементов устройства для регистрации магнитного поля;

на фиг. 2 представлена схема расположения ячеек градиометров;

на фиг. 3 представлена блок-схема алгоритма регистрации магнитного поля;

на фиг. 4 подставлена блок-схема алгоритма оптической накачки ячеек градиометра;

на фиг. 5 представлен пример общего вида вычислительного устройства.

Осуществление изобретения

Ниже будут описаны понятия и термины, необходимые для понимания данного технического решения.

В данном техническом решении под системой подразумевается, в том числе, компьютерная система, ЭВМ (электронно-вычислительная машина), ЧПУ (числовое программное управление), ПЛК (программируемый логический контроллер), компьютеризированные системы управления и любые другие устройства, способные выполнять заданную, четко определенную последовательность операций (действий, инструкций).

Под устройством обработки команд подразумевается электронный блок, вычислительное устройство либо интегральная схема (микропроцессор), исполняющая машинные инструкции (программы).

Устройство обработки команд считывает и выполняет машинные инструкции (программы) с одного или более устройств хранения данных. В роли устройства хранения данных могут выступать, но не ограничиваясь, жесткие диски (HDD), флэш-память, ПЗУ (постоянное запоминающее устройство), твердотельные накопители (SSD), оптические приводы.

Программа - последовательность инструкций, предназначенных для исполнения устройством управления вычислительной машины или устройством обработки команд.

Поляриметр - прибор, предназначенный для измерения угла вращения плоскости поляризации, вызванной оптической активностью прозрачных сред, растворов (сахарометрия) и жидкостей.

Делитель луча (лучевой делитель) - это оптический конструктивный элемент, который разделяет отдельный луч света на два частичных луча.

Градиометр - устройство, разработанное для измерения пространственных изменений магнитных полей источников, являющихся внешними по отношению к этим устройствам.

Поляризатор - устройство, предназначенное для получения полностью или частично поляризованного оптического излучения из излучения с произвольным состоянием поляризации. Линейные поляризаторы позволяют получать плоскополяризованный свет.

Лазер (или оптический квантовый генератор) - это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Четвертьволновая пластина - это устройство, позволяющее преобразовывать линейно поляризованный свет в свет с круговой поляризацией.

Акустико-оптический модулятор - устройство для изменения интенсивности пропускаемого света, вследствие его дифракции на решётке, образуемой в стекле в результате пространственной модуляции показателя преломления акустической волной.

Модулятор частоты - устройство, предназначенное для изменения во времени по заданному закону интенсивности, фазы, частоты или поляризации лазерного излучения.

В соответствии со схемой, приведенной на фиг. 1, устройство 10 регистрации магнитного поля содержит

вычислительное устройство 1;

шесть (для одного источника сигнала) поляриметров с синхронным усилителем (на фиг. 1 пред-

ставлены позициями 2 и 3);

шесть (для одного источника сигнала) делителей луча (на фиг. 1 представлены позициями 4 и 5), выполненных с возможностью выделения деполяризованной компоненты, расположенных на выходе частично деполяризованного луча из ячейки градиометра с системой зеркал и/или оптоволокон, доставляющих сигнал на поляриметры;

три (для одного источника сигнала) градиометра (на фиг. 1 представлен позицией 6), каждый из которых содержит две измерительные ячейки 6.1 и 6.2, содержащие пары щелочного металла;

три делителя луча (для одного источника сигнала), сохраняющие поляризацию (на фиг. 1 представлен позицией 7);

три зеркала (для одного источника сигнала) (на фиг. 1 представлено позицией 8);

три линейных поляризатора (для одного источника сигнала) (на фиг. 1 представлен позицией 9);

три пробных лазера (для одного источника сигнала) (на фиг. 1 представлен позицией 10);

три четвертьволновых пластин (для одного источника сигнала) (на фиг. 1 представлена позицией 11);

три (для одного источника сигнала) акустико-оптических модулятора (на фиг. 1 представлен позицией 12);

три лазера накачки (для одного источника сигнала) (на фиг. 1 представлен позицией 13);

модулятор частоты с усилителем 14.

Вычислительное устройство 1 может быть реализовано на базе по меньшей мере одного процессора или микропроцессора, сконфигурированного в программно-аппаратной части таким образом, чтобы выполнять приписанные ему в настоящем техническом решении функции и обеспечивать функционирование устройства 10 регистрации магнитного поля. Более подробно конструкция вычислительного устройства 1 описана ниже.

В качестве поляриметров могут быть выбраны любые известные из уровня техники поляриметры, а в качестве синхронного усилителя могут быть выбраны, например, усилители компании Stanford Research Systems.

Делители луча, выполненные с возможностью выделения деполяризованной компоненты, и делители луча, сохраняющие поляризацию, могут быть реализованы на базе модели BS035 - 10:90 (R:T) Non-Polarizing Beamsplitter Cube, 700-100 нм, 5 мм, не ограничиваясь.

Ячейки градиометров 6 могут быть реализованы известными из уровня техники методами, например, раскрытыми в наиболее близких аналогах. Например, ячейки градиометров 6 могут состоять из материала, такого как стекло или пластик, способного пропускать свет от пробного лазера или лазера накачки через ячейку. Также ячейки градиометров 6 могут содержать пары буферного инертного газа и одного из представителей щелочных металлов, ядра которых обладают собственным ненулевым магнитным моментом. Для данного устройства предпочтительным являются пары рубидия или цезия. Соответственно, для повышения точности измерения локального магнитного поля (например, магнитное поле головы человека) используются градиометры. Для возможности фиксировать направление внешнего магнитного поля (например, Земли и технического статического магнитного шума) градиометры располагают в трех ортогональных (или близких к ортогональным) плоскостях. Например, в отдельный момент времени ось градиометра может быть размещена вдоль местного вектора магнитного поля Земли. В один момент времени чистый (без внешних шумов) сигнал локального магнитного поля (например, поля мозга человека) может быть зафиксирован при расположении внешнего магнитного поля (например, Земли или технического шума) строго ортогонально оси градиометра, сформированной двумя ячейкам. При отсутствии ортогональности оси внешнего магнитного поля (например, Земли или технического шума) и осей градиометров возможно разложение внешнего магнитного поля (Земли или технического шума) по базису трехмерного пространства, представленного тремя градиометрами, расположенными в ортогональных (или близких к ортогональным) плоскостях 100 (см. фиг. 2).

Конструкции зеркал, линейных поляризаторов, четвертьволновых пластин и акустико-оптических модуляторов широко известны из уровня техники и более подробно не будут описаны в рамках настоящего изобретения. Пробные лазеры могут быть реализованы на базе лазерного диода модели L895VH1 - VCSEL от компании Thorlabs, а лазеры накачки - на базе лазерного диода DBR795PN от компании Thorlabs.

В качестве модулятора частоты может быть использован микро-DAVLL (англ. "Small-sized Dichroic Atomic Vapor Laser Lock").

Устройство работает следующим образом.

На первом этапе работы устройства 10 регистрации магнитного поля выполняют оптическую накачку двух ячеек градиометра (этап 110, фиг. 3) световым сигналом, сгенерированным лазером накачки. Соответственно, для этого устройство 10 регистрации магнитного поля размещают, например, на голове пользователя (или вблизи источника измеряемого магнитного поля малой или средней величины) и осуществляют его запуск. Запуск упомянутого устройства 10 может быть выполнен посредством специализированных средств ввода, широко известных из уровня техники, в качестве которых могут выступать, например, клавиатура, сенсорный дисплей, тач-пад, джойстик, манипулятор мышь, световое перо, сти-

лус, сенсорная панель, трекбол, динамики, микрофон, средства дополненной реальности, оптические сенсоры, планшет, световые индикаторы, проектор, камера, средства биометрической идентификации (сканер сетчатки глаза, сканер отпечатков пальцев, модуль распознавания голоса) и т.п., включая дистанционные устройства и устройства-включатели, расположенные непосредственно в области прибора или на приборе. После запуска устройства 10 регистрации магнитного поля вычислительное устройство 1, в соответствии с машиночитаемыми инструкциями, направляет команды для подачи напряжения от источника питания на каждый лазер накачки 13, который начинает генерировать световой сигнал (этап 111, фиг. 4) с длиной волны 795 нм (или другой длиной волны, строго соответствующей выбранному щелочному металлу ячейки градиометра) и мощностью более 200 мВт для накачки ячеек 6.1 и 6.2 градиометра. Модулятор частоты с усилителем 14 известными из уровня техники методами обеспечивает обратную связь с лазером накачки 13 для реализации стабильной лазерной генерации на заданной частоте. Для накачки упомянутых ячеек может потребоваться 10-30 циклов поглощения и релаксации. Необходимая мощность луча зависит от числа атомов в ячейке. Так, при насыщении ячейки с 5×10^{12} числом атомов требуется 10^{13} фотонов в импульсе, реализуемое при мощности луча в 0,2-3 Вт/мкс, что может быть обеспечено усилителем при модуляторе 14.

Световой сигнал от лазера накачки 13 поступает в акустико-оптический модулятор 12, в котором осуществляется формирование импульсной подачи светового сигнала (этап 112, фиг. 4) с длительностью импульса меньше периода прецессии для выбранного металла ячейки градиометра (например, для рубидия меньше 2,8 мкс). Так как мультиплоскостной магнитометр находится вне магнитно-изолированной комнаты, то модуляция на ларморовской частоте (частоте прецессии) невозможна по причине невозможности фиксации напряженности внешнего магнитного поля (В), следовательно, для магнитометра вне магнитной изоляции выбором способа накачки является модуляция импульса света круговой поляризации на частоте меньше ларморовской частоты. Также дополнительно упомянутый модулятор 12 при поступлении светового сигнала направляет электрические сигналы на поляриметры 2 и 3 для их синхронизации. Посредством синхронизации поляриметров 2 и 3 повышается корректность выдачи сигналов на вычислительное устройство 1, а также снижаются вычислительные ресурсы, требуемые для обработки сигналов, поскольку сигналы (для их регистрации) от поляриметров 2 и 3 на вычислительное устройство 1 поступают не постоянно, а только по команде от модулятора 12 при поступлении на него светового сигнала. Далее световой сигнал от модулятора 12 в виде импульсов заданной частоты (меньше ларморовской для выбранного металла ячеек 6.1 и 6.2) и мощности, необходимой для накачки выбранного числа атомов ячеек 6.1 и 6.2 (например, мощность 0.2-3 Вт/мкс), поступает на четвертьволновую пластинку 11. Четвертьволновая пластинка 11 осуществляет круговую поляризацию полученного светового сигнала (этап 113, фиг. 4) в пассивном режиме для обеспечения возможности накачки упомянутых ячеек 6.1 и 6.2. Пройдя через четвертьволновую пластинку 11, поляризованный световой сигнал в виде импульсов поступает в наружный торец градиометра 6 каждой из плоскостей (этап 114, фиг. 4). Упомянутый световой сигнал проходит сквозь внутренний торец наружной ячейки 6.1 градиометра 6, проходя насквозь через внутренний торец внутренней ячейки 6.2 градиометра 6. Таким образом, осуществляется оптическая накачка всех ячеек градиометров 6 световым сигналом (этап 110, фиг. 3), излучаемым лазером накачки 13 (см., например, https://ru.wikipedia.org/wiki/Оптическая_накачка).

Далее выполняется этап 120, на котором через упомянутые ячейки градиометра 6 пропускают лучи света, сгенерированные пробным лазером. Для этого синхронно или через заданный в устройстве 10 интервал времени напряжение от источника питания подается на пробный лазер 10, который испускает луч света на линейный поляризатор 9 и в котором осуществляется линейная поляризация света. По причине ограничения мощности пробный лазер для каждой плоскости градиометра свой.

Далее поляризованный луч света поступает на делитель луча 7, сохраняющий поляризацию. Делитель луча 7 разбивает полученный луч света на два ортогональных луча, один из которых проходит через ячейку 6.1, а второй луч посредством зеркала 8 - через ячейку 6.2. Проходящий через ячейки градиометра свет частично деполяризуется (приобретает деполяризованную - отличную от круговой поляризации - компоненту), проходя через ячейки с щелочным металлом, магнитный момент атомов которого частично рассинхронизирован под действием магнитного поля. Соответственно, при отсутствии магнитного поля в области градиометра 6 выходящий из ячеек 6.1 и 6.2 свет будет сохранять круговую поляризацию. При наличии только внешнего магнитного поля (Земли, статичного технического шума), направление вектора которого не ортогонально оси градиометра, величина деполяризованной компоненты первой ячейки 6.1 будет совпадать с деполяризованной компонентой (с учетом погрешности) второй ячейки 6.2. В случае наличия магнитного поля (например, мозга человека) в области градиометра 6 луч света, проходящий через ячейку 6.1 или 6.2, будет различно деполитизирован, вследствие чего величина упомянутой деполяризованной компоненты луча света на выходе из ячеек будет отличаться, что увеличивает точность определения магнитного поля в области градиометра.

Далее, лучи света от ячеек 6.1 и 6.2 поступают на делители луча 4 и 5 соответственно, которые выделяют деполяризованную компоненту (при ее наличии) света, прошедшего через соответствующие ячейки, после чего частично деполяризованный (при наличии деполяризации) свет в виде двух компонент (деполяризованной и поляризованной) идет на поляриметры 2 и 3, где на основе поступивших двух

компонент света фиксируется величина деполяризованной компоненты (этап 130, фиг. 3). Соответственно, посредством поляриметров на вычислительное устройство 1 поступает электрический сигнал, характеризующий величину деполяризованной компоненты луча света, от всех шести ячеек, формирующих три независимых синхронизированных сигнала градиометров 6, расположенных в ортогональных (или близких к ортогональным) плоскостях 100. Таким образом, осуществляется регистрация величины деполяризованной компоненты лучей света (этап 140, фиг. 4).

Каждый сигнал градиометра 6 вычислительным устройством 1 обрабатывается отдельно. Общий сигнал магнитного поля Земли (и статичного технического шума) определяется на основе всех трех сигналов градиометров 6. Таким образом, каждый градиометр 6 фиксирует локальное магнитное поле (например, мозга человека) в области соприкосновения (приближения) устройства 10 регистрации магнитного поля с источником магнитного поля (например, поверхностью головы) через разность величин деполяризованных компонент на каждой ячейке градиометра 6.

Таким образом, за счет того, что градиометр содержит две ячейки, через которые пропускают лучи света для регистрации деполяризованной компоненты лучей света, характеризующих величину магнитного поля в области ячеек градиометра, повышается чувствительность регистрации магнитного поля в области градиометров. Также за счет того, что градиометры расположены в трех ортогональных (или близких к ортогональным) плоскостях, обеспечивается возможность фиксации направления внешнего магнитного поля (например, Земли и технического статичного магнитного шума).

В общем виде (см. фиг. 5) вычислительное устройство 200 содержит объединенные общей шиной информационного обмена один или несколько процессоров 201, средства памяти, такие как ОЗУ 202 и ПЗУ 203, интерфейсы ввода/вывода 204, устройства ввода/вывода 205 и устройство для сетевого взаимодействия 206.

Процессор 201 (или несколько процессоров, многоядерный процессор и т.п.) может выбираться из ассортимента устройств, широко применяемых в настоящее время, например, таких производителей, как Intel™, AMD™, Apple™, Samsung Exynos™, MediaTEK™, Qualcomm Snapdragon™ и т.п. Под процессором или одним из используемых процессоров в устройстве 200 также необходимо учитывать графический процессор, например GPU NVIDIA с программной моделью, совместимой с CUDA, или Graphcore, тип которых также является пригодным для полного или частичного выполнения способа, а также может применяться для обучения и применения моделей машинного обучения в различных информационных системах.

ОЗУ 202 представляет собой оперативную память и предназначено для хранения исполняемых процессором 201 машиночитаемых инструкций для выполнения необходимых операций по логической обработке данных. ОЗУ 202, как правило, содержит исполняемые инструкции операционной системы и соответствующих программных компонент (приложения, программные модули и т.п.). При этом в качестве ОЗУ 202 может выступать доступный объем памяти графической карты или графического процессора.

ПЗУ 203 представляет собой одно или более устройств постоянного хранения данных, например жесткий диск (HDD), твердотельный накопитель данных (SSD), флэш-память (EEPROM, NAND и т.п.), оптические носители информации (CD-R/RW, DVD-R/RW, BlueRay Disc, MD) и др.

Для организации работы компонентов устройства 200 и организации работы внешних подключаемых устройств применяются различные виды интерфейсов В/В 204. Выбор соответствующих интерфейсов зависит от конкретного исполнения вычислительного устройства, которые могут представлять собой, не ограничиваясь, PCI, AGP, PS/2, IrDa, FireWire, LPT, COM, SATA, IDE, Lightning, USB (2.0, 3.0, 3.1, micro, mini, type C), TRS/Audio jack (2.5, 3.5, 6.35), HDMI, DVI, VGA, Display Port, RJ45, RS232 и т.п.

Для обеспечения взаимодействия пользователя с устройством 200 применяются различные средства 205 В/В информации, например клавиатура, дисплей (монитор), сенсорный дисплей, тач-пад, джойстик, манипулятор мышь, световое перо, стилус, сенсорная панель, трекбол, динамики, микрофон, средства дополненной реальности, оптические сенсоры, планшет, световые индикаторы, проектор, камера, средства биометрической идентификации (сканер сетчатки глаза, сканер отпечатков пальцев, модуль распознавания голоса) и т.п.

Средство сетевого взаимодействия 206 обеспечивает передачу данных посредством внутренней или внешней вычислительной сети, например Интранет, Интернет, ЛВС и т.п. В качестве одного или более средств 206 может использоваться, но не ограничиваясь, Ethernet карта, GSM модем, GPRS модем, LTE модем, 5G модем, модуль спутниковой связи, NFC модуль, Bluetooth и/или BLE модуль, Wi-Fi модуль и др.

Дополнительно могут применяться также средства спутниковой навигации в составе устройства 200, например GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo.

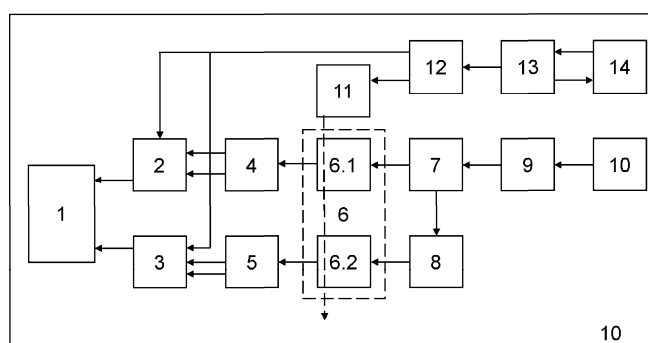
Конкретный выбор элементов устройства 200 для реализации различных программно-аппаратных архитектурных решений может варьироваться с сохранением обеспечиваемого требуемого функционала.

Модификации и улучшения вышеописанных вариантов осуществления настоящего технического решения будут ясны специалистам в данной области техники. Предшествующее описание представлено только в качестве примера и не несет никаких ограничений. Таким образом, объем настоящего техниче-

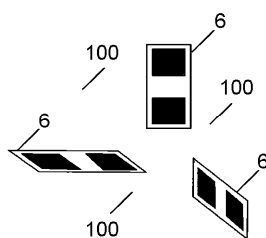
ского решения ограничен только объемом прилагаемой формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

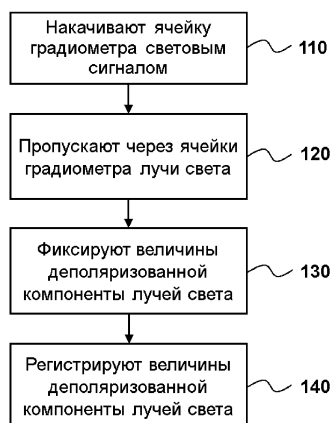
1. Способ регистрации магнитного поля, содержащий этапы, на которых посредством светового сигнала, сгенерированного лазером накачки, выполняют оптическую накачку по меньшей мере двух ячеек градиометра;
пропускают через упомянутые ячейки градиометра лучи света, сгенерированные пробным лазером;
фиксируют посредством поляриметров величины деполяризованной компоненты лучей света, прошедших через ячейки градиометра, характеризующие величину магнитного поля в области ячеек градиометра;
регистрируют посредством вычислительного устройства величины деполяризованной компоненты лучей света, зафиксированных на предыдущем этапе.
2. Способ по п.1, характеризующийся тем, что для оптической накачки ячеек градиометра посредством акустико-оптического модулятора осуществляют импульсную подачу светового сигнала, сгенерированного лазером накачки, с длительностью импульса меньше периода прецессии для выбранного металла ячейки градиометра.
3. Способ по п.2, характеризующийся тем, что посредством четвертьволновой пластинки осуществляют круговую поляризацию светового сигнала в пассивном режиме для оптической накачки упомянутых ячеек градиометра.
4. Способ по п.1, характеризующийся тем, что посредством линейного поляризатора дополнительно осуществляют поляризацию лучей света, сгенерированных пробным лазером.
5. Способ по п.1, характеризующийся тем, что регистрацию величин деполяризованной компоненты лучей света осуществляют с трех градиометров, расположенных в трех ортогональных (или близких к ортогональным) плоскостях.
6. Способ по п.1, характеризующийся тем, что ячейки градиометра содержат пары щелочного металла: рубидия или цезия и буферного инертного газа.
7. Способ по п.1, характеризующийся тем, что дополнительно посредством акустико-оптического модулятора при поступлении светового сигнала направляют электрические сигналы на поляриметры для их синхронизации.
8. Устройство регистрации магнитного поля, содержащее по меньшей мере одно вычислительное устройство и по меньшей мере одно устройство памяти, содержащее машиночитаемые инструкции, которые при их исполнении по меньшей мере одним вычислительным устройством выполняют способ по пп.1-7.



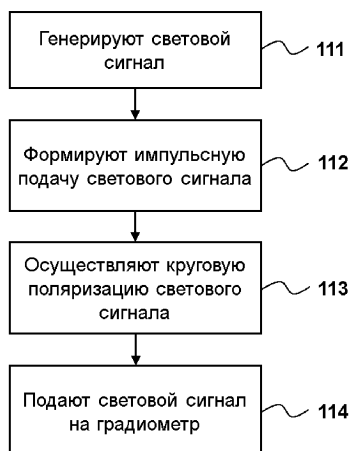
Фиг. 1



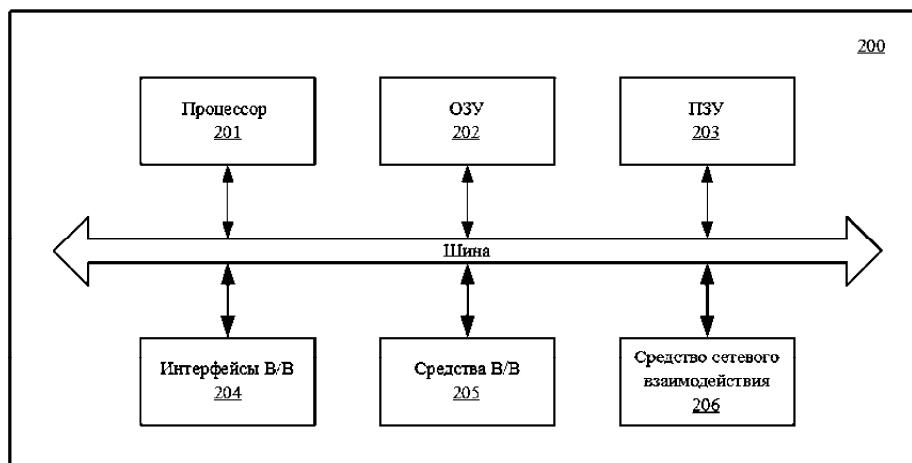
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

