



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014129307/14, 29.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.12.2011

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2016 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 27.05.2016 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US2004070761A1, 15.04.2004.  
DE102006007750A1, 23.08.2007.  
WO2010000279A1, 07.01.2010. RU2166304C1,  
10.05.2001.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 29.07.2014(86) Заявка РСТ:  
EP 2011/006605 (29.12.2011)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2013/097881 (04.07.2013)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ВАРМ Берндт (DE)

(73) Патентообладатель(и):

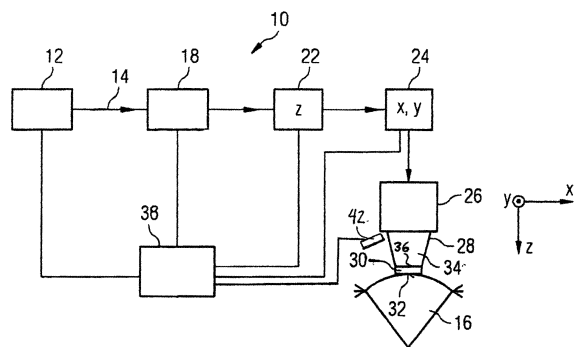
УЭЙВЛАЙТ ГМБХ (DE)

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ  
ФОКУСА РЕФРАКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

## (57) Реферат:

Группа изобретений относится к медицинской технике, а именно к лазерному аппарату, системе и способу определения глубины локализации фокальной точки лазерного пучка. К лазерному аппарату может подсоединяться интерфейсное устройство, содержащее уплощающий элемент, имеющий переднюю и заднюю поверхности. Лазерный пучок, имеющий заданный профиль, фокусируется через уплощающий элемент в фокальную точку и детектируется составное изображение, образованное паразитным

отражением, соответствующим отражению от передней поверхности уплощающего элемента и нормальным отражением, соответствующим отражению от задней поверхности этого элемента. Затем производится отфильтровывание паразитного отражения от составного изображения. Используя сохраненное нормальное отражение, можно определить глубину локализации фокальной точки лазерного пучка. 3 н. и 10 з.п. ф-лы, 12 ил.



ФИГ. 1

RU 2585425 C2

RU 2585425 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014129307/14, 29.12.2011**(24) Effective date for property rights:  
**29.12.2011**

Priority:

(22) Date of filing: **29.12.2011**(43) Application published: **20.02.2016** Bull. № 5(45) Date of publication: **27.05.2016** Bull. № 15(85) Commencement of national phase: **29.07.2014**(86) PCT application:  
**EP 2011/006605 (29.12.2011)**(87) PCT publication:  
**WO 2013/097881 (04.07.2013)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,  
OOO "JURidicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**VARM Berndt (DE)**

(73) Proprietor(s):

**UEJVLAJT GMBKH (DE)**(54) **IMAGE PROCESSING METHOD TO DETERMINE THE DEPTH OF LOCALIZATION OF REFRACTIVE LASER FOCUS**

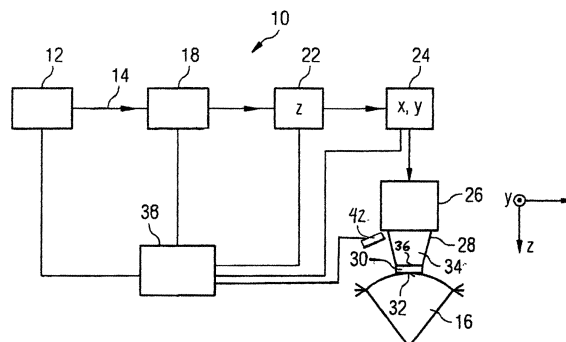
(57) Abstract:

FIELD: medical equipment.

SUBSTANCE: group of inventions relates to medical engineering, in particular to a laser apparatus, system and method for determining the depth of localization of the focal point of the laser beam. Laser device may be connected to the interface device comprising a flattened member having front and back surfaces. A laser beam having a predetermined profile is focused through a flattening element to the focal point detected by the composite image formed by parasitic reflections corresponding to reflection from the front surface of the flattening element and a normal reflection corresponding to reflection from the rear surface of the element. Next, the filtering of parasitic reflections from the composite image takes place.

EFFECT: using the stored normal reflection, you can determine the depth of localization of the focal point of the laser beam.

13 cl, 12 dwg



ФИГ. 1

## Уровень техники

Важным условием использования лазеров для обработки материалов, особенно лазеров, применяемых в офтальмологической хирургии, является возможность точного определения глубины локализации фокуса лазерного пучка, чтобы обеспечить высокое

качество и точность выполнения разреза.

Рефракционные лазеры - это специальная разновидность лазеров для обработки материалов, используемая в хирургии по методу LASIK (laser in-situ keratomileusis - лазерный интрастромальный кератомилез). Операция по данному методу производится в три этапа. Первый этап служит для создания лоскута роговичной ткани. Вторым этапом

является изменение, посредством рефракционного лазера, профиля роговицы в области ниже лоскута. На заключительном этапе лоскут возвращают в исходное положение. Роговица человеческого глаза состоит из пяти слоев, начиная с наружного слоя (эпителия), т.е. тонкого слоя ткани, состоящего из быстрорастущих и легко регенерируемых клеток, обычно образующих шесть клеточных слоев. Следующий слой, боуменова мембрана толщиной 8-14 мкм, - это уплотненный слой коллагена, который защищает строму. Строма представляет собой прозрачный средний слой, состоящий из регулярно распределенных коллагеновых волокон в сочетании с редко расположенными и взаимосвязанными кератоцитами - клетками, ответственными за поддержание и заживление повреждений стромы. Десцеметова оболочка - это тонкий бесклеточный слой толщиной примерно 5-20 мкм. Наконец, эндотелий представляет собой слой клеток, богатых митохондриями, толщиной около 5 мкм.

Строма является самым толстым слоем роговицы, составляющим до 90% ее общей толщины. Профилирование стромы в процессе операции изменяет способность роговицы фокусировать свет, что обеспечивает коррекцию зрения пациента.

Для более точного управления глубиной локализации фокуса лазерного пучка в процессе операции по методу LASIK в контакт с наружной поверхностью глаза вводится плоская или изогнутая прозрачная и/или просвечивающая (полупрозрачная) пластина, именуемая также уплощающим элементом. У уплощающего элемента имеются передняя поверхность, на которую обычно наносится антиотражающий слой, и задняя поверхность, находящаяся в контакте с глазом.

При вырезании лоскута необходимо прецизионное управление глубиной локализации фокуса лазерного пучка. Лоскут вырезается на глубину примерно 80-500 мкм, например около 120 мкм. Обычно лоскут создается в непосредственной близости от боуменовой мембраны, чтобы избежать травмы при отгибании лоскута, но на достаточном удалении от этой мембраны, чтобы не повредить ее слой. С целью обеспечить стабильные высококачественные результаты, управление глубиной локализации фокуса (фокальной точки) лазерного пучка должно осуществляться с воспроизводимостью, составляющей несколько микрометров.

Современные системы для хирургии по методу LASIK калибруются (или рекалибруются) по глубине локализации фокуса лазерного пучка относительно поверхности роговицы глаза перед началом каждой операции.

С целью определения, в процессе калибровки, точной глубины локализации фокуса лазерного пучка заднюю поверхность уплощающего элемента приводят в контакт с глазом и направляют на глаз лазерный пучок, имеющий определенный профиль. Точное значение глубины локализации фокуса лазерного пучка относительно задней поверхности уплощающего элемента рассчитывают по результатам измерения паттерна света, отраженного от задней поверхности уплощающего элемента. Чтобы

гарантировать отсутствие паразитных отражений (которые могли бы ухудшить качество расчетов) от других поверхностей, на переднюю поверхность уплощающего элемента наносят антиотражающее покрытие, обладающее высоким пропусканием и минимизирующее отражение.

- 5 Однако подобное покрытие с высоким пропусканием является весьма дорогостоящим. Поэтому представляется желательным разработать способ точного определения глубины локализации фокуса лазерного пучка, реализуемый, даже если передняя поверхность уплощающего элемента не имеет антиотражающего слоя с высоким пропусканием. Эта задача решена группой изобретений, раскрытых в независимых  
10 пунктах прилагаемой формулы. Предпочтительные варианты охарактеризованы в зависимых пунктах.

#### Раскрытие изобретения

- Офтальмологический лазерный аппарат согласно первому аспекту изобретения раскрыт в п. 1 прилагаемой формулы. Интерфейсное устройство, подсоединяемое к  
15 лазерному аппарату, содержит уплощающий элемент, который может быть прозрачным и/или полупрозрачным (просвечивающим) для лазерного пучка, формируемого лазерным аппаратом. Уплощающий элемент имеет переднюю и заднюю поверхности. Лазерный аппарат содержит оптические компоненты, способные фокусировать лазерный пучок, имеющий заданный профиль, через уплощающий элемент в фокальную точку.  
20 Лазерный аппарат содержит также детекторный элемент, выполненный с возможностью детектировать составное изображение, образованное наложенными изображениями, обусловленными паразитным отражением от передней поверхности и нормальным отражением от задней поверхности. Лазерный аппарат, кроме того, содержит процессор, способный осуществлять цифровую фильтрацию с отфильтровыванием паразитного  
25 отражения от составного изображения и определять глубину локализации фокальной точки лазерного пучка по сохраненному нормальному отражению.

- Офтальмологический лазерный аппарат согласно первому аспекту изобретения позволяет точно определять глубину локализации фокуса лазерного пучка, даже когда передняя поверхность уплощающего элемента не имеет антиотражающего покрытия.  
30 В одном варианте согласно первому аспекту офтальмологический лазерный аппарат может дополнительно содержать маску для перекрытия по меньшей мере части лазерного пучка. В этом случае оптические компоненты могут быть выполнены с возможностью фокусировать лазерный пучок через маску с формированием заданного профиля пучка. Согласно этому варианту в качестве подходящей может быть выбрана  
35 маска, позволяющая получить точные данные для определения глубины локализации фокуса лазерного пучка.

- В следующем варианте согласно первому аспекту для отфильтровывания паразитного отражения процессор может быть выполнен с возможностью осуществления свертки наложенных изображений с заданным референтным паттерном для получения  
40 вспомогательного изображения с последующим анализом вспомогательного изображения с целью идентифицировать в нем зону (пятно), имеющую (имеющее) наибольшую интенсивность. В завершение, процессор может быть выполнен с возможностью репозиционирования референтного паттерна в зависимости от локализации указанного пятна и с возможностью перемножения наложенных  
45 изображений и репозиционированного референтного паттерна для получения нормального отражения. Согласно этому варианту может быть определен центр нормального отражения и, на основе этой информации, исключено паразитное отражение.

В качестве развития рассмотренного варианта референтный паттерн может иметь центральную точку, а процессор может репозиционировать референтный паттерн с обеспечением совмещения центральной точки и пятна с наибольшей интенсивностью. Согласно этому варианту могут быть идентифицированы точки, в которых может быть локализовано нормальное отражение. Тем самым гарантируется, что в процессе устранения паразитного отражения не будет потеряна ни одна из частей нормального отражения.

Дополнительно или альтернативно, свертка наложенных изображений с референтным паттерном может осуществляться, как операция перемножения в частотной области.

В развитие этого варианта процессор может быть выполнен с возможностью применять к наложенным изображениям преобразование Фурье. Процессор может быть также способен перемножать наложенные изображения, подвергнутые преобразованию Фурье, и результат преобразования Фурье для референтного паттерна, чтобы получить преобразованное вспомогательное изображение. Наконец, процессор может быть выполнен с возможностью: производить обратное преобразование Фурье для преобразованного вспомогательного изображения с получением вспомогательного изображения. Это позволяет с большей скоростью производить расчет свернутых наложенных изображений, тогда как осуществление свертки в пространственной области может быть весьма дорогостоящим в плане объема вычислений.

Еще в одном варианте согласно первому аспекту уплощающий элемент может быть выполнен не имеющим антиотражающего покрытия.

В любом из двух основных рассмотренных вариантов задняя поверхность уплощающего элемента может быть выполнена с возможностью находиться в контакте с глазом, подлежащим исследованию. Это позволит в процессе описанного определения поддерживать постоянное расстояние между оптическими компонентами и поверхностью глаза, что гарантирует точность измерения глубины локализации фокуса.

Второй аспект изобретения соответствует лазерной системе, содержащей лазерный аппарат, выполненный в соответствии с первым аспектом, т.е. с любым из вариантов этого аспекта. Лазерная система содержит также интерфейсное устройство, подсоединяемое к лазерному аппарату и содержащее уплощающий элемент, выполненный прозрачным и/или полупрозрачным для лазерного пучка, формируемого лазерным аппаратом, и имеющий переднюю и заднюю поверхности.

Третий аспект соответствует способу определения глубины локализации фокальной точки лазерного пучка, формируемого описанным лазерным аппаратом. На первой операции этого способа лазерный пучок, имеющий заданный профиль, фокусируют через уплощающий элемент в фокальной точке. При этом уплощающий элемент, имеющий переднюю и заднюю поверхности, может быть прозрачным и/или полупрозрачным для лазерного пучка. На второй операции детектируют составное изображение. Оно состоит из взаимно наложенных паразитного отражения, соответствующего отражению от передней поверхности, и нормального отражения, соответствующего отражению от задней поверхности. На третьей операции осуществляют цифровую фильтрацию с отфильтровыванием из наложенных изображений паразитного отражения. На заключительной операции определяют глубину локализации фокальной точки лазерного пучка, основываясь на сохраненном нормальном отражении.

Способ согласно третьему аспекту обеспечивает точное определение глубины локализации фокуса лазерного пучка, даже если передняя поверхность уплощающего элемента не имеет антиотражающего покрытия.

В варианте третьего аспекта операция с отфильтровыванием паразитного отражения может включать: свертку наложенных изображений с заданным референтным паттерном для получения вспомогательного изображения; анализ вспомогательного изображения для идентификации в нем пятна, имеющего наибольшую интенсивность;

5 репозиционирование референтного паттерна в зависимости от локализации указанного пятна и перемножение наложенных изображений и репозиционированного референтного паттерна для получения нормального отражения. Согласно этому варианту можно определить центральную точку нормального отражения и, основываясь на этой информации, исключить паразитное отражение.

10 Кроме того, согласно этому варианту операция свертки может включать: применение к наложенным изображениям преобразования Фурье, перемножение наложенных изображений, подвергнутых преобразованию Фурье, и результата преобразования Фурье референтного паттерна для получения преобразованного вспомогательного изображения и выполнение обратного преобразования Фурье для преобразованного  
15 вспомогательного изображения. Это позволяет с большей скоростью производить расчет свернутых наложенных изображений, тогда как осуществление свертки в пространственной области может быть весьма дорогостоящим в плане объема вычислений.

Четвертый аспект соответствует компьютерной программе, имеющей части в виде  
20 программного кода и выполненной с возможностью, будучи загруженной в компьютер или процессор или запущенной на компьютере или процессоре, активировать компьютер или процессор для обеспечения осуществления способа согласно третьему аспекту изобретения.

Компьютерная программа может быть записана в устройстве для хранения  
25 программы или в компьютерном программном продукте.

В данном описании термин "преобразование Фурье" охватывает любое дискретное преобразование Фурье, например быстрое преобразование Фурье. Однако этот термин в контексте описания может охватывать и любой вычислительный метод, пригодный для преобразования пространственного сигнала в частотную область.

30 Лазерный аппарат, лазерная система и соответствующие ей способ и компьютерная программа были описаны выше применительно к офтальмологии. Однако предусматривается, что лазерный аппарат, лазерная система и соответствующие ей способ и компьютерная программа могут применяться в различных областях, например в дерматологии или обработке материалов.

35 Краткое описание чертежей

Далее изобретение будет описано со ссылками на прилагаемые схематичные чертежи.

На фиг. 1 представлена схема системы, содержащей лазерный аппарат согласно одному варианту изобретения.

На фиг. 2 представлено схематичное изображение части лазерного аппарата по фиг.  
40 1.

На фиг. 3 показана, на виде в плане, маска, используемая в варианте по фиг. 2.

На фиг. 4 схематично иллюстрируется прохождение света через уплощающий элемент, выполненный согласно варианту по фиг. 1.

На фиг. 5 приведена блок-схема вычислительных операций способа согласно варианту  
45 изобретения.

На фиг. 6 иллюстрируется фильтрация изображения, пригодная при определении глубины локализации фокуса лазерного пучка.

На фиг. 7 показано изображение, состоящее из паразитного отражения, наложенного

на нормальное отражение в соответствии с вариантом по фиг. 5.

На фиг. 8 показан референтный паттерн, соответствующий варианту по фиг. 5.

На фиг. 9 иллюстрируется преобразование Фурье для референтного паттерна по фиг. 8.

5 На фиг. 10 показан результат перемножения подвергнутого преобразованию Фурье референтного паттерна по фиг. 9 и результата преобразования Фурье наложенных изображений по фиг. 7.

На фиг. 11 иллюстрируется обратное преобразование Фурье для изображения по фиг. 10.

10 На фиг. 12 показан референтный паттерн, репозиционированный в соответствии с вариантом по фиг. 5.

Осуществление изобретения

На фиг. 1 показана лазерная система 10 для фокусирования лазерного пучка 14 в фокальной точке, находящейся внутри глаза 16.

15 Лазерная система содержит лазерный источник 12. Этот источник может содержать, в частности: лазерный генератор (например твердотельный); предусилитель, увеличивающий импульсную мощность лазерных импульсов, испускаемых генератором, и одновременно растягивающий их во времени; установленное за ним устройство контроля частоты повторения импульсов (pulse picker), которое осуществляет выбор  
20 индивидуальных сгенерированных лазерных импульсов, прошедших предусиление, чтобы понизить частоту их следования до требуемого уровня; усилитель мощности, который усиливает энергию выбранных, все еще растянутых во времени импульсов до уровня, требуемого в соответствующем приложении, и компрессор импульсов, обеспечивающий сжатие импульсов, поступающих из усилителя мощности, до  
25 длительностей, требуемых в соответствующем приложении.

Таким образом, лазерный источник 12 генерирует импульсный лазерный пучок 14. Длительность импульсов излучения выбирают подходящей для генерирования сигналов в форме отраженного света в целях диагностики или для выполнения разрезов в  
30 роговичной ткани глаза 16 пациента. При этом длительность импульсов излучения, образующих лазерный пучок 14, находится в наносекундном, пикосекундном, фемтосекундном или аттосекундном диапазоне.

Частота повторения импульсов, образующих лазерный пучок 14, генерируемый лазерным источником 12, выбирается отвечающей требованиям конкретного приложения. Соответственно, частота повторения импульсов излучения, испускаемого  
35 лазерной системой 10 и направляемого на глаз 16, соответствует частоте повторения импульсов излучения на выходе лазерного источника 12. Альтернативно, если это необходимо для заданного профилирования глаза 16, часть импульсов излучения, испускаемых лазерным источником 12, бланкируется посредством оптического ключа 18, установленного на пути лазерного пучка 14. В результате бланкированные импульсы  
40 излучения не достигают глаза 16.

Оптический ключ 18, именуемый также модулятором импульсов, может представлять собой, например, акустооптический или электрооптический модулятор. В общем случае оптический ключ 18 может содержать те или иные оптически активные элементы, обеспечивающие быстрое бланкирование индивидуальных лазерных импульсов.  
45 Например, данный ключ может содержать ловушку для пучка, обеспечивающую поглощение бланкируемых импульсов излучения. В этом случае оптический ключ 18 может отклонять импульсы, подлежащие бланкированию, от нормальной траектории лазерного пучка 14 и направлять их в ловушку для пучка.

Другие оптические компоненты, установленные в ходе лазерного пучка 14, включают z-контроллер 22 и x-y-контроллер 24. Z-контроллер 22 управляет локализацией фокальной точки лазерного пучка 14 в продольном направлении; а x-y-контроллер 24 - локализацией фокальной точки в поперечной плоскости. В иллюстративных целях на 5 фиг. 1 показана система координат, задающая направления x-y-z в зоне глаза 16. В данном контексте термин "продольное" относится к направлению распространения пучка, которое обычно обозначается, как z-направление. Соответственно, термин "поперечная" относится к плоскости, перпендикулярной к направлению распространения лазерного пучка 14 и обычно именуемой плоскостью x-y.

10 Чтобы обеспечить поперечное отклонение лазерного пучка 14, x-y контроллер 24 может содержать, например, пару сканерных зеркал с гальванометрическим приводом, способных поворачиваться относительно взаимно перпендикулярных осей. Z-контроллер 22 может, например, содержать линзу с регулируемым положением по продольной оси, или с переменной преломляющей способностью, или деформируемое зеркало.

15 Посредством таких компонентов можно управлять расходимостью лазерного пучка 14 и, как следствие, положением фокуса пучка по оси z (z-положением). Регулируемая линза или зеркало может входить в состав расширителя пучка, обеспечивающего расширение лазерного пучка 14, испускаемого лазерным источником 12. Расширитель пучка может быть сконфигурирован, например, как телескоп Галилея.

20 Лазерный аппарат согласно первому варианту содержит фокусирующий объектив, образованный оптическими компонентами 26, установленными на траектории лазерного пучка 14. Эти компоненты 26 служат для фокусирования лазерного пучка 14 в заданную зону на поверхности глаза 16 или внутри него, в частности внутри роговицы. Фокусирующие оптические компоненты 26 могут составлять f-theta объектив.

25 Оптический ключ 18, z-контроллер 22, x-y контроллер 24 и фокусирующий объектив 26 необязательно должны располагаться так, как показано на фиг. 1. В частности, оптический ключ 18 можно установить, без потери общности, на траектории пучка за z-контроллером 22. Если это представляется желательным, x-y контроллер 24 и z-контроллер 22 могут быть объединены в единый конструктивный модуль. Таким 30 образом, порядок и группирование компонентов, показанные на фиг. 1, не должны рассматриваться как ограничивающие объем изобретения.

Уплощающий элемент 30, расположенный с выходной стороны фокусирующего объектива 26, образует контактный интерфейс для роговицы глаза 16. Этот элемент является прозрачным и/или по меньшей мере полупрозрачным для лазерного излучения.

35 На задней поверхности 32 уплощающего элемента 30, обращенной к глазу, предусмотрено наличие контактной поверхности для роговицы глаза 16. На верхней стороне уплощающего элемента 30, противоположной поверхности глаза, находится передняя поверхность 36, не имеющая никакого антиотражающего (минимизирующего отражение) покрытия. В представленном примере задняя поверхность 32 выполнена 40 плоской. Когда уплощающий элемент 30 введен в контакт с глазом 16 с приложением требуемого давления или когда осуществлено присасывание роговицы к задней поверхности 32 под действием пониженного давления, задняя поверхность обеспечивает выравнивание роговицы. Соответственно, на фиг. 1 глаз 16 показан прилегающим к планарной задней поверхности 32 уплощающего элемента 30.

45 Уплощающий элемент 30 (который, если он сконструирован с плоскими взаимно параллельными поверхностями, обычно именуется аппланационной пластиной) прикреплен к узкому концу держателя 34, выполненного в форме конической втулки. Уплощающий элемент 30 и втулка-держатель 34 могут быть соединены неразъемно,

например посредством склеивания. Альтернативно, соединение между ними может быть разъемным, например резьбовым. Допустимо использовать также единственный оптический компонент, изготовленный инжекционным формованием и выполняющий функции и втулки-держателя 34, и уплощающего элемента 30. Втулка-держатель 34 может быть снабжена на своем широком (на фиг. 1 верхнем) конце неизображенными сопрягающимися элементами, пригодными для ее прикрепления к фокусирующему объективу 26.

Лазерная система 10 содержит также детекторный элемент 42, такой как камера, выполненная с возможностью сбора изображений и их передачи на управляющий компьютер 38.

Управление лазерным источником 12, оптическим ключом 18, детекторным элементом 42 и двумя контроллерами 22, 24 осуществляется управляющим компьютером 38, функционирующим в соответствии с управляющей программой, записанной в его память. Управляющая программа содержит команды (в виде программного кода), реализуемые управляющим компьютером 38 с целью определения локализации фокуса лазерного пучка 14 в роговице, в хрусталике или в другой части глаза 16, прилегающего к уплощающему (контактному) элементу 30, и управления этой локализацией.

Лазерная система 10 может также содержать интерфейсный модуль (не изображен), подключенный к управляющему компьютеру 38, чтобы дать пользователю возможность вводить в этот компьютер команды. Интерфейсный модуль может содержать дисплей и/или осуществлять мониторинг, позволяющий пользователю получать информацию о состоянии компонентов лазерной системы 10 и/или видеть данные, собранные детекторным элементом 42.

На фиг. 2 более подробно показана часть лазерной системы 10, входящая в состав лазерного аппарата. На траектории лазерного пучка 14 между фокусирующим объективом 26 и уплощающим элементом 30 установлена маска 40. Она выполнена из материала, непрозрачного для излучения лазерного пучка 14. Размеры маски 40 выбраны такими, чтобы перекрыть лазерный пучок 14, по существу, полностью. Маска 40 изображена квадратной, но допустимы и иные ее формы, такие как правильный или неправильный многоугольник или круг.

Вид маски 40 в плане представлен на фиг. 3. У нее имеются центральное отверстие 43 и одно или более периферийных отверстий 44. Отверстия 43, 44 обеспечивают возможность пропускания через них света лазерного пучка 14. Все периферийные отверстия 44 удалены от центрального отверстия 43 на одно и то же расстояние D. Расстояние D составляет менее половины диаметра лазерного пучка 14, так что через периферийные отверстия проходит свет краевых зон лазерного пучка 14. Периферийные отверстия 44 могут быть равномерно распределены по воображаемой окружности с центром в центральном отверстии 43, но возможно и неравномерное распределение этих отверстий по указанной окружности.

На фиг. 4 иллюстрируется работа уплощающего элемента 30 на пропускание/отражение при направлении на него светового пучка 14. Когда световой пучок падает на переднюю поверхность 36 уплощающего элемента 30, его основная часть продолжает распространяться в том же направлении, тогда как часть пучка отражается от него, образуя паразитное отражение 14b.

Согласно уровню техники, чтобы подавить паразитное отражение 14b, на переднюю поверхность 36 уплощающего элемента 30 наносят антиотражающее покрытие. Однако в представленном варианте передняя поверхность 36 не имеет такого покрытия, поэтому свет, падающий на эту поверхность, создает паразитное отражение 14b.

Остальная часть лазерного пучка 14 проходит через уплощающий элемент 30 и достигает задней поверхности 32 этого элемента. Здесь также происходит отражение части пучка, создающее нормальное отражение 14a.

5 Отраженный свет, соответствующий нормальному отражению 14a и паразитному отражению 14b, собирается, в виде выходного изображения, детекторным элементом 42.

В известных системах благодаря использованию антиотражающего покрытия на передней поверхности 36 выходное изображение состоит только из нормального отражения 14a. При использовании в этих системах маски 40, показанной на фиг. 3, 10 будет иметь место отражение, подобное показанному на фиг. 6, т.е. состоящее из яркого центрального пятна, соответствующего нормальному отражению 14a света, прошедшего через центральное отверстие 43, и четырех ярких периферийных пятен, соответствующих нормальным отражениям 14a света, прошедшего через периферийные отверстия 44. Используя расстояния между центральным и периферийными пятнами, можно 15 рассчитать глубину локализации фокуса лазерного пучка 14.

В рассматриваемом варианте при применении маски 40 по фиг. 3 формируется отражение, показанное на фиг. 7. Изображение состоит из нормального отражения 14a, на которое наложено паразитное отражение 14b. Пятна в составе паразитного отражения 14b имеют конфигурацию, сходную с конфигурацией пятен в нормальном 20 отражении 14a, которая определяется отверстиями 43, 44 маски 40. Однако пятна в паразитном отражении 14b имеют меньшую интенсивность, чем пятна в нормальном отражении. Кроме того, пятна в составе паразитного отражения 14b имеют более широкий разброс, чем пятна в составе нормального отражения 14a. В заключение, паразитное отражение 14b может быть неполным, т.е. содержащим в составе 25 изображения только некоторые из периферийных пятен.

С учетом вышеизложенного, чтобы рассчитать глубину локализации фокальной точки лазерного пучка 14, необходимо осуществить фильтрацию наложенных изображений (т.е. составного изображения) по фиг. 7 и удалить паразитное отражение 14b. Это позволит определить глубину локализации фокуса лазерного пучка 14, 30 базируясь на нормальном отражении 14a.

На фиг. 5 иллюстрируются операции (шаги), выполняемые согласно варианту изобретения при фильтрации наложенных изображений типа показанных на фиг. 7.

На первой операции определяют референтный паттерн 54, основываясь на паттерне маски 40. Как показано на фиг. 8, референтный паттерн 54 состоит из суперпозиции 35 локализаций пятен, получаемых при всех возможных глубинах локализации фокуса лазерного пучка 14 в рамках нормального отражения 14a для конкретной маски 40. Затем производится преобразование Фурье для референтного паттерна 54, чтобы получить преобразованный референтный паттерн 56, показанный на фиг. 9.

Определение референтного паттерна 54 и расчет преобразованного референтного 40 паттерна 56 можно произвести только один раз, до начала использования системы 10, после чего преобразованный референтный паттерн 56 может быть записан в память управляющего компьютера 38. В этом случае данные операции не нужно будет выполнять повторно, перед каждой операцией фильтрации; вместо этого преобразованный референтный паттерн 56, соответствующий маске 40, может быть 45 просто вызван из памяти.

Первая операция может быть выполнена на управляющем компьютере 38 или на внешнем процессоре, а ее результаты загружены в память управляющего компьютера 38. Остальные операции выполняются управляющим компьютером 38.

На второй операции, которая может выполняться до, после или параллельно первой операции, подвергают преобразованию Фурье составное изображение 50 по фиг. 7, чтобы получить преобразованное составное изображение 52.

На третьей операции производят перемножение преобразованного составного изображения 52 и преобразованного референтного паттерна 56 с получением преобразованного вспомогательного изображения 58, показанного на фиг. 10.

На четвертой операции производят обратное преобразование Фурье преобразованного вспомогательного изображения 58 с получением вспомогательного изображения 60, показанного на фиг. 11. Вспомогательное изображение 60 соответствует свертке составного изображения 50 с референтным паттерном 54.

На пятой операции сканируют вспомогательное изображение 60, чтобы идентифицировать пятно с наибольшей интенсивностью, отмеченное на фиг. 11 стрелкой. Это пятно является самым ярким пятном во вспомогательном изображении 60 и соответствует локализации центра нормального отражения 14а.

На шестой операции референтный паттерн 54 по фиг. 8 репозиционируют таким образом, чтобы центральная точка референтного паттерна 54 совпала с пятном с наибольшей интенсивностью, идентифицированным во вспомогательном изображении 60 по фиг. 11. Репозиционированный референтный паттерн 62 показан на фиг. 12.

В заключение, на седьмой операции перемножают составное изображение 50 по фиг. 7 и репозиционированный референтный паттерн 62 по фиг. 12, чтобы получить профильтрованное изображение 64 типа показанного на фиг. 6. Профильтрованное изображение 64, по существу, идентично нормальному отражению 14а, полученному с маской 40, т.е., по существу, свободно от любых паразитных отражений 14b. Затем, с использованием известных алгоритмов, может быть проведен анализ профильтрованного изображения 64, чтобы определить глубину локализации фокальной точки (фокуса) лазерного пучка 14.

#### Формула изобретения

1. Офтальмологический лазерный аппарат, выполненный с возможностью подсоединения к нему интерфейсного устройства, содержащего уплощающий элемент, имеющий переднюю и заднюю поверхности, причем лазерный аппарат содержит:

- оптические компоненты, выполненные с возможностью фокусировать лазерный пучок, имеющий заданный профиль, через уплощающий элемент в фокальную точку, - детекторный элемент, выполненный с возможностью детектировать наложенные изображения, одно из которых обусловлено паразитным отражением от передней поверхности, а второе - нормальным отражением от задней поверхности, и - процессор, способный осуществлять цифровую фильтрацию с отфильтровыванием из наложенных изображений паразитного отражения и определять глубину локализации фокальной точки лазерного пучка по сохраненному нормальному отражению.

2. Лазерный аппарат по п. 1, дополнительно содержащий маску для перекрытия по меньшей мере части лазерного пучка, при этом оптические компоненты выполнены с возможностью фокусировать лазерный пучок через маску с формированием заданного профиля пучка.

3. Лазерный аппарат по п. 1, в котором процессор для отфильтровывания паразитного отражения выполнен с возможностью осуществления:

- свертки наложенных изображений с заданным референтным паттерном для получения вспомогательного изображения, - анализа вспомогательного изображения для идентификации в нем пятна, имеющего

наибольшую интенсивность,

- репозиционирования референтного паттерна в зависимости от локализации указанного пятна и

- перемножения наложенных изображений и репозиционированного референтного паттерна для получения нормального отражения.

4. Лазерный аппарат по п. 3, в котором референтный паттерн имеет центральную точку и в котором процессор выполнен с возможностью репозиционировать референтный паттерн с обеспечением совмещения центральной точки и пятна с наибольшей интенсивностью.

5. Лазерный аппарат по п. 3, который выполнен с возможностью осуществления свертки наложенных изображений с референтным паттерном как операции перемножения в частотной области.

6. Лазерный аппарат по п. 3, в котором процессор выполнен с возможностью: применять к наложенным изображениям преобразование Фурье,

осуществлять операцию перемножения наложенных изображений, подвергнутых преобразованию Фурье, и результата преобразования Фурье для указанного паттерна с целью получения преобразованного вспомогательного изображения и

производить обратное преобразование Фурье для преобразованного вспомогательного изображения с получением вспомогательного изображения.

7. Лазерный аппарат по п. 1, в котором уплощающий элемент выполнен без антиотражающего покрытия.

8. Лазерный аппарат по п. 1, в котором задняя поверхность уплощающего элемента выполнена с возможностью находиться в контакте с глазом, подлежащим исследованию.

9. Лазерная система, содержащая офтальмологический лазерный аппарат, выполненный согласно любому из предыдущих пунктов, и интерфейсное устройство, выполненное с возможностью подсоединения к лазерному аппарату и содержащее уплощающий элемент, выполненный прозрачным и/или полупрозрачным для лазерного пучка, формируемого лазерным аппаратом, и имеющий переднюю и заднюю поверхности.

10. Способ определения глубины локализации фокальной точки лазерного пучка, формируемого офтальмологическим лазерным аппаратом, включающий следующие операции:

- фокусирование лазерного пучка, имеющего заданный профиль, в фокальную точку через уплощающий элемент, имеющий переднюю и заднюю поверхности;

- детектирование наложенных изображений, одно из которых соответствует паразитному отражению от передней поверхности, а второе - нормальному отражению от задней поверхности;

- цифровая фильтрация с отфильтровыванием из наложенных изображений паразитного отражения и

- определение глубины локализации фокальной точки лазерного пучка по сохраненному нормальному отражению.

11. Способ по п. 10, в котором операция с отфильтровыванием паразитного отражения включает:

- свертку наложенных изображений с заданным референтным паттерном для получения вспомогательного изображения,

- анализ вспомогательного изображения для идентификации в нем пятна, имеющего наибольшую интенсивность,

- репозиционирование референтного паттерна в зависимости от локализации

указанного пятна и

- перемножение составного изображения и репозиционированного референтного паттерна для получения нормального отражения.

12. Способ по п. 11, в котором операция свертки включает:

- 5       - применение к наложенным изображениям преобразования Фурье,  
      - перемножение наложенных изображений, подвергнутых преобразованию Фурье, и результата преобразования Фурье референтного паттерна для получения преобразованного вспомогательного изображения и  
10       - выполнение обратного преобразования Фурье для преобразованного  
      вспомогательного изображения с получением вспомогательного изображения.

13. Устройство для хранения программы, содержащее компьютерную программу, имеющую части в виде программного кода и выполненную с возможностью, будучи загруженной в компьютер или процессор или запущенной на компьютере или процессоре, обеспечить осуществление компьютером или процессором способа согласно любому  
15 из пп. 10-12.

20

25

30

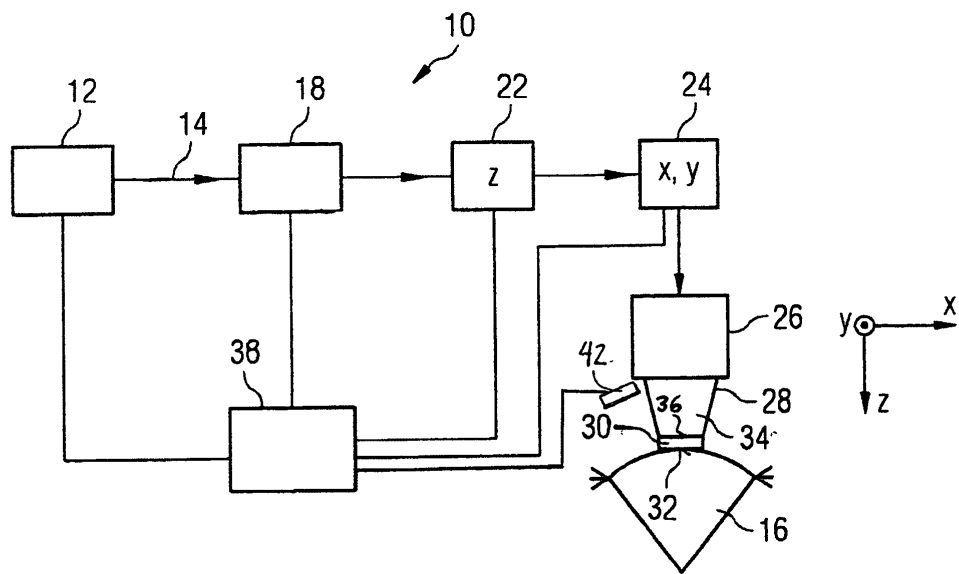
35

40

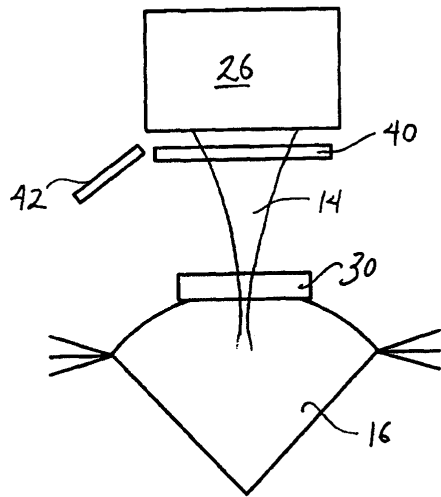
45

1

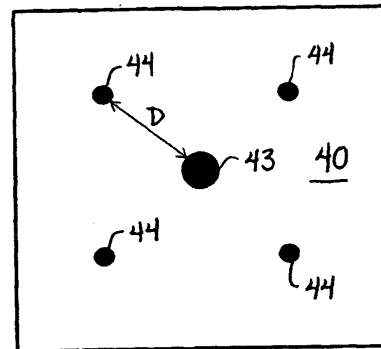
ФИГ. 1



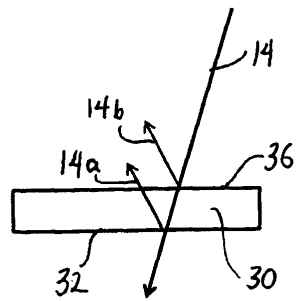
2



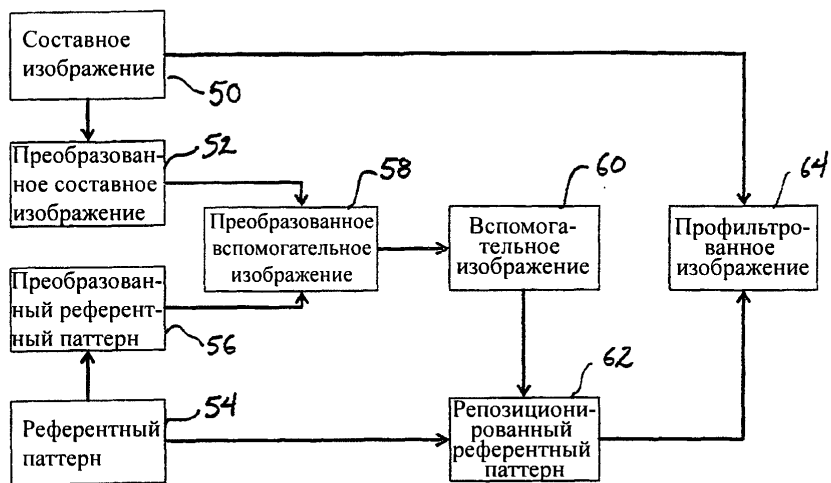
ФИГ. 2



ФИГ. 3

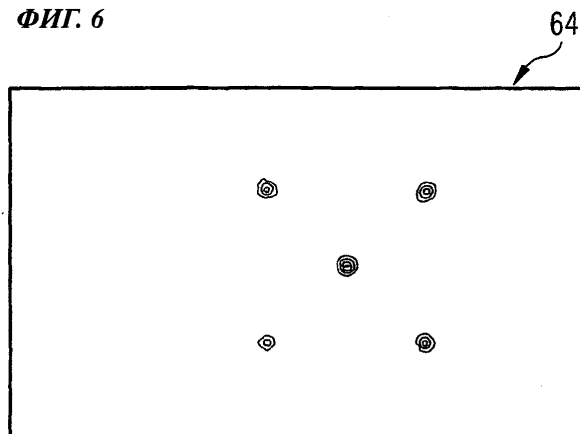


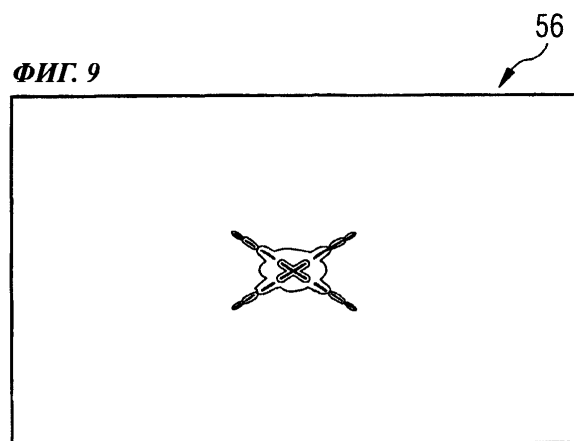
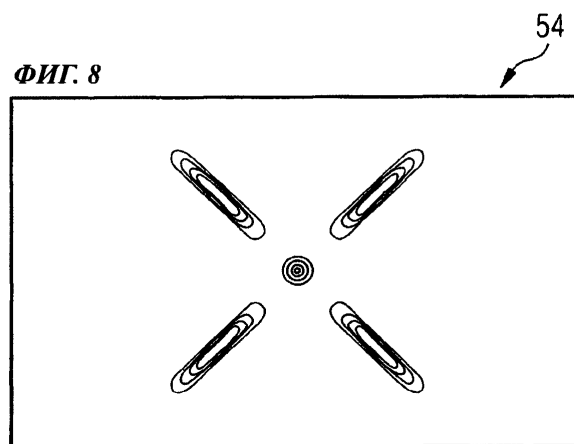
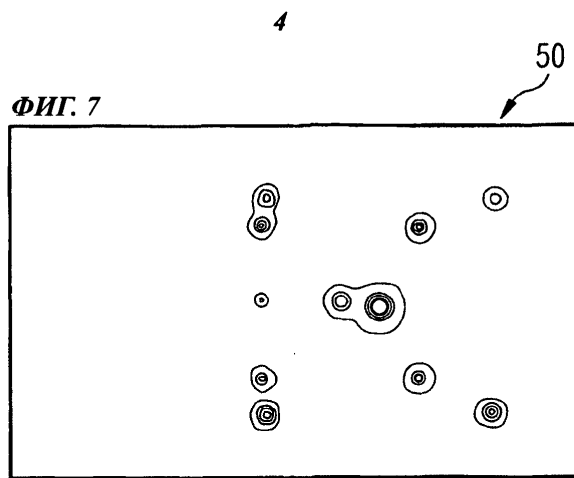
ФИГ. 4



ФИГ. 5

ФИГ. 6

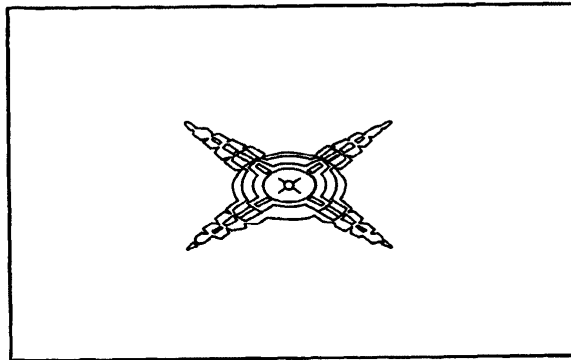




5

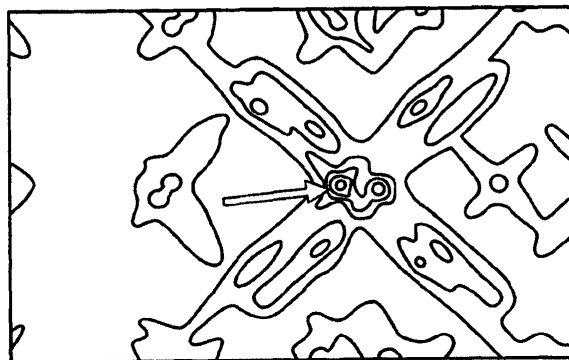
ФИГ. 10

58



ФИГ. 11

60



ФИГ. 12

62

