



(51) МПК
A61B 1/07 (2006.01)
A61B 3/10 (2006.01)
A61B 8/10 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A61B 3/0008 (2006.01); *A61B 3/10* (2006.01); *A61B 3/102* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016138562, 22.04.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 22.04.2015

Дата регистрации:
 06.08.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
 09.05.2014 US 14/274,074

(43) Дата публикации заявки: 09.06.2018 Бюл. № 16

(45) Опубликовано: 06.08.2018 Бюл. № 22

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
 национальной фазе: 09.12.2016

(86) Заявка РСТ:
 US 2015/027115 (22.04.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:
 WO 2015/171317 (12.11.2015)

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

УИТЛИ Барри (US)

(73) Патентообладатель(и):

НОВАРТИС АГ (CH)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: US 20080243002 A1, 02.10.2008. US
 20130058392 A1, 07.03.2013. US 20040151466
 A1, 05.08.2004. US 6485413 B1, 26.11.2002. RU
 2401050 C2, 10.10.2010.

(54) ВИДЕОЗОНД, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ПРИВОД

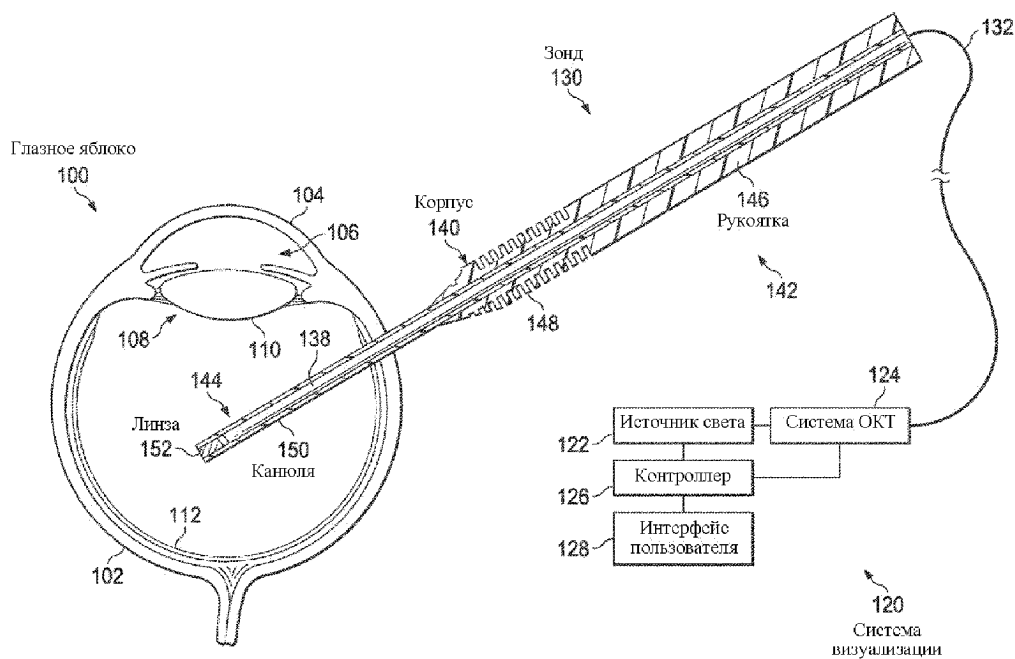
(57) Реферат:

Группа изобретений относится к медицине. Офтальмологический видеозонд содержит рукоятку; канюлю, присоединенную к рукоятке; оптическое волокно, расположенное, по меньшей мере частично, внутри рукоятки и канюли; и систему исполнительного привода, выполненную с возможностью передавать движение оптическому волокну. Оптическое волокно выполнено с возможностью приема светового пучка, формирующего изображение, от источника светового пучка, формирующего изображение, и направления светового пучка, формирующего изображение оптическому элементу,

расположенному внутри дистальной части канюли. Система исполнительного привода содержит множество электродов, расположенных внутри канюли, при этом каждый электрод выполнен с возможностью передачи движения оптическому волокну посредством избирательной передачи электрического заряда по меньшей мере одному из: электроду и электропроводящему слою оптического волокна, при этом каждый электрод проходит в продольном направлении вдоль канюли, повторяет форму канюли, а также проходит в изогнутом виде вокруг части внутреннего периметра канюли. Система

офтальмологической визуализации содержит источник светового пучка, формирующего изображение, выполненный с возможностью формирования светового пучка, формирующего изображение; световод в оптической связи с источником светового пучка, формирующего изображение, при этом световод выполнен с

возможностью приема генерируемого светового пучка, формирующего изображение от источника светового пучка, формирующего изображение; и зонд в оптической связи со световодом. Применение данной группы изобретений позволит повысить качество визуализации исследуемого объекта. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 10 ил.



Фиг. 1

RU 2663490 C2

RU 2663490 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
A61B 1/07 (2006.01)
A61B 3/10 (2006.01)
A61B 8/10 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
A61B 3/0008 (2006.01); *A61B 3/10* (2006.01); *A61B 3/102* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016138562, 22.04.2015**

(24) Effective date for property rights:
22.04.2015

Registration date:
06.08.2018

Priority:

(30) Convention priority:
09.05.2014 US 14/274,074

(43) Application published: **09.06.2018** Bull. № 16

(45) Date of publication: **06.08.2018** Bull. № 22

(85) Commencement of national phase: **09.12.2016**

(86) PCT application:
US 2015/027115 (22.04.2015)

(87) PCT publication:
WO 2015/171317 (12.11.2015)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):
WHEATLEY, Barry (US)

(73) Proprietor(s):
NOVARTIS AG (CH)

(54) **VIDEO PROBE USING ELECTROSTATIC ACTUATING DRIVER**

(57) Abstract:

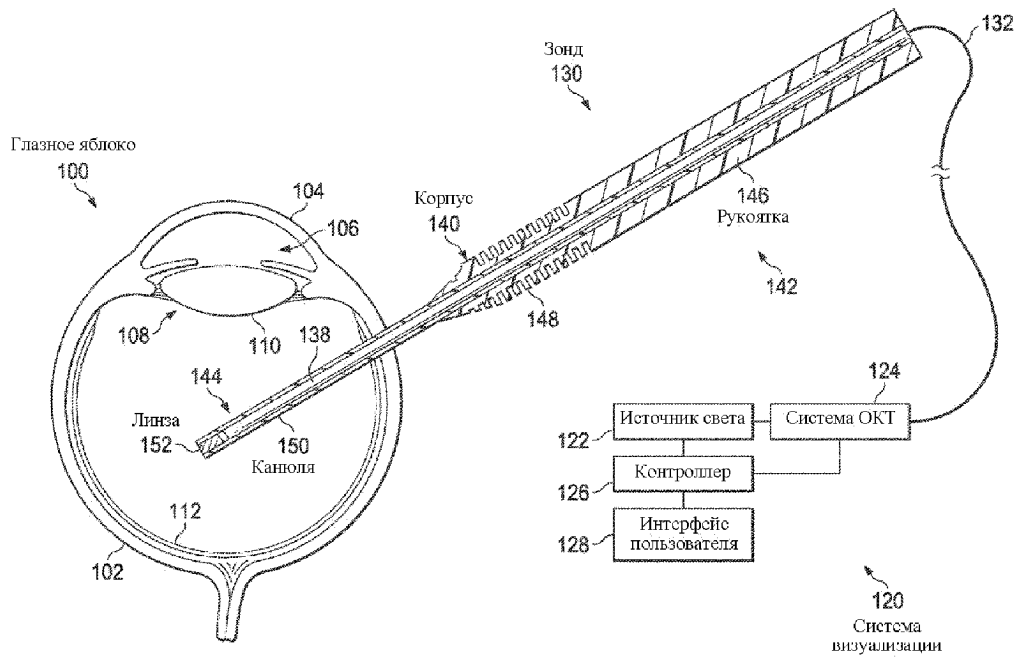
FIELD: medicine.

SUBSTANCE: group of inventions relates to medicine. Ophthalmic video probe contains a handle; a cannula attached to the handle; an optical fiber located at least partially within the handle and cannula; and an actuating drive system configured to transmit the motion to the optical fiber. Optical fiber is configured to receive the image forming light beam from the light source forming the image and the direction of the light beam forming the image to the optical element located inside the distal part of the cannula. Actuating drive system comprises a plurality of electrodes disposed within the cannula, wherein each electrode is configured to transmit movement to the optical fiber by selectively

transmitting an electric charge to at least one of: an electrode and an electroconductive layer of an optical fiber, each electrode extending longitudinally along the cannula, repeating the shape of the cannula, and also extending in a curved form around a portion of the inner perimeter of the cannula. Ophthalmologic imaging system comprises a light source generating an image configured to form a light beam forming the image; optical fiber in optical communication with the source of the light beam forming the image, wherein the light guide is adapted to receive the generated light beam forming the image from the light source forming the image; and a probe in optical communication with the optical fiber.

RU 2 663 490 C2

RU 2 663 490 C2



Фиг. 1

RU 2663490 C2

RU 2663490 C2

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Варианты реализации изобретения, описанные в настоящем документе, относятся к устройствам, системам и способам для сканирования тканей с помощью зонда для оптической когерентной томографии (ОКТ), а более конкретно, к устройствам, системам и способам, которые используют зонд ОКТ, имеющий смещаемое волокно для офтальмологической визуализации.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] Системы оптической когерентной томографии (ОКТ) используются для захвата и генерирования изображений слоев тканей пациента. Эти системы чаще всего содержат зонды ОКТ, которые могут инвазивно вводиться в ткани для того, чтобы получить визуализацию тканей в организме пациента. В офтальмологии зонды ОКТ используются для получения детальных изображений тканей в пределах глаза или даже для формирования изображений части глазного яблока, например, сетчатки.

[0003] При использовании оптический луч света направляется через зонд на ткани. Небольшая часть этого света отражается от подповерхностных образований тканей и собирается с помощью того же зонда. Большинство света не отражается, а скорее диффузно рассеивается под большими углами. В обычных изображениях этот диффузно рассеянный свет является одной из причин образования фонового шума, который затеняет изображение. Тем не менее, при проведении ОКТ, техника, называемая интерферометрией, записывает длины оптического пути принимаемых фотонов, и предоставляет данные, отвергающие большинство фотонов, которые многократно рассеиваются до обнаружения. В результате это приводит к тому, что изображения являются более четкими и распространяются в глубину тканей.

[0004] Обычно зонды ОКТ содержат выступающую канюлю, которая может инвазивно вводиться в ткани пациента. Зонд сканирует ткани с помощью преломления оптического светового луча через линзу, расположенную на конце канюли. Сканирование может включать в себя перемещение оптического волокна назад и вперед внутри канюли для того, чтобы направить световой луч через линзу на ткани под разными углами. Длина и малый диаметр канюли затрудняют перемещение волокна назад и вперед внутри канюли. Кроме того, малая величина свободного пространства внутри зонда ограничивает типы исполнительных механизмов, которые могут быть использованы. Более того, должна быть возможность изготовления зондов ОКТ и связанных с ними систем экономически эффективным способом, который включает в себя возможность сделать одноразовый зонд, в некоторых вариантах реализации изобретения в виде устройства для одноразового использования.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] Варианты реализации изобретения, описанные в настоящем документе, относятся к устройствам, системам и способам, которые используют по меньшей мере один заряженный электрод для передачи движения оптическому волокну, расположенному внутри видеозонда с помощью электростатической силы.

[0006] В соответствии с некоторыми вариантами реализации изобретения представлен офтальмологический видеозонд. Зонд может содержать рукоятку; канюлю, присоединенную к рукоятке; оптическое волокно, расположенное по меньшей мере, частично, внутри рукоятки и канюли, при этом оптическое волокно выполнено с возможностью приема светового изображения от источника светового изображения, и направления светового изображения оптическому элементу, расположенному внутри дистальной части канюли; и систему исполнительного привода, выполненную с возможностью передавать движение оптическому волокну, при этом система

исполнительного привода содержит электрод, расположенный внутри канюли, и способный передавать движение оптическому волокну посредством избирательной передачи электрического заряда по меньшей мере одному из: электроду и электропроводящему слою оптического волокна.

5 [0007] Электрод может проходить по меньшей мере вдоль одной трети (1/3) канюли в продольном направлении. Система исполнительного привода может дополнительно
10 содержать второй электрод, расположенный внутри канюли. Система исполнительного привода может дополнительно содержать третий электрод или множество электродов, размещенных внутри канюли. Электрод и указанный второй электрод могут быть
15 симметрично расположены вокруг оптического волокна. Оптическое волокно может содержать электропроводящий слой и/или изолирующий слой. Электропроводящий слой может быть расположен между оптическим волокном и изолирующим слоем. Изолирующий слой может содержать диэлектрический материал. Внутренняя сторона
20 поверхности электрода может содержать изолирующий слой. Наружная сторона поверхности электрода может содержать изолирующий слой. Система исполнительного привода может быть выполнена с возможностью передавать движение к оптическому волокну для того, чтобы сканировать световое изображение в пределах одномерной или двухмерной модели сканирования. Система исполнительного привода, которая
25 содержит по меньшей мере один электрод, может реализовать одномерную модель сканирования. Система исполнительного привода, которая содержит два, три, четыре или более электродов, может реализовать двухмерную модель сканирования. Одномерная модель сканирования может включать по меньшей мере одно из: линию и дугу. Двухмерная модель сканирования может включать по меньшей мере одно из: спираль, растр, звезда постоянного радиуса, звезда множественных радиусов и
30 многократно наложенная траектория. Оптический элемент может содержать градиентную линзу (ГРИН). Оптический элемент может быть механически присоединен к дистальному концу оптического волокна таким образом, что оптический элемент перемещается с дистальным концом оптического волокна. Система исполнительного привода может быть выполнена с возможностью передавать движение оптическому
35 волокну для того, чтобы сканировать световое изображение в пределах модели сканирования с линейной протяженностью целевой биологической ткани от 1 мм до 5 мм на расстоянии от 5 мм до 10 мм от дистального конца рукоятки.

[0008] В соответствии с некоторыми вариантами реализации изобретения представлена офтальмологическая система визуализации. Система может содержать источник
35 светового пучка, формирующего изображение, способный формировать световой пучок, формирующий изображение; световод в оптической связи с источником светового пучка, формирующего изображение, при этом световод способен принимать генерируемый световой пучок, формирующий изображение, от источника светового пучка, формирующего изображение; и зонд в оптической связи со световодом, при этом
40 зонд содержит рукоятку; канюлю, присоединенную к рукоятке; оптическое волокно, расположенное по меньшей мере, частично, внутри рукоятки и канюли, при этом оптическое волокно содержит электропроводящий слой, причем оптическое волокно способно принимать указанный световой пучок, формирующий изображение, из световода и направлять световой пучок, формирующий изображение, оптическому
45 элементу, расположенному внутри дистальной части канюли; и систему исполнительного привода, выполненную с возможностью передавать движение оптическому волокну, при этом система исполнительного привода содержит электрод, расположенный внутри канюли, и способна передавать движение оптическому волокну посредством

избирательной передачи электрического заряда по меньшей мере одному из: электроду и электропроводящему слою оптического волокна.

[0009] Система дополнительно содержит контроллер, взаимодействующий с источником света, при этом контроллер способен управлять приведением в действие источника светового пучка, формирующего изображение, для процедуры визуализации оптической когерентной томографии (ОКТ). Контроллер может быть дополнительно сконфигурирован с возможностью обработки данных, полученных посредством зонда, и вывода данных изображения на дисплей, соединенный с контроллером. Контроллер может быть дополнительно сконфигурирован для осуществления избирательного прикладывания напряжения по меньшей мере к одному из: электропроводящему слою оптического волокна и электроду таким образом, что по меньшей мере один из: электропроводящий слой оптического волокна и электрод получает электрический заряд. Оптическое волокно может содержать изолирующий слой так, что электропроводящий слой располагается между оптическим волокном и изолирующим слоем. Изолирующий слой может содержать диэлектрический материал.

[0010] В соответствии с некоторыми вариантами реализации изобретения, представлен способ офтальмологической визуализации. Способ может включать прикладывание первого электрического напряжения к электроду, расположенному внутри корпуса офтальмологического зонда таким образом, что электрод получает электрический заряд, имеющий первую полярность; и прикладывание второго напряжения к электропроводящему слою оптического волокна, расположенного внутри корпуса офтальмологического зонда, таким образом, что электропроводящий слой получает электрический заряд, имеющий вторую полярность, при этом оптическое волокно дополнительно содержит изолирующий слой, способный предотвратить электрическую связь между электродом и электропроводящим слоем оптического волокна; при этом электростатическая сила, являющаяся результатом получения электродом электрического заряда, имеющего первую полярность, и электропроводным слоем оптического волокна, получающего электрический заряд, имеющий вторую полярность, побуждает оптическое волокно сканировать световой пучок, формирующий изображение, проходящий сквозь оптическое волокно через оптический элемент, расположенный в дистальной части корпуса.

[0011] Дополнительные аспекты, конструктивные особенности и преимущества настоящего изобретения станут очевидными из последующего подробного описания.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0012] Фиг. 1 иллюстрирует графическое схематическое изображение глазного яблока при лечении и приводимую в качестве примера систему визуализации ОКТ в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0013] Фиг. 2 представляет стилизованную иллюстрацию вида сбоку в поперечном разрезе видеозонда в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0014] Фиг. 3 представляет стилизованную иллюстрацию вида поперечного разреза дистальной части видеозонда по Фиг. 2, показывающую оптическое волокно видеозонда в первом положении, в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0015] Фиг. 4 представляет стилизованную иллюстрацию вида поперечного разреза дистальной части видеозонда по Фиг. 2, аналогичную Фиг. 3, но показывающую оптическое волокно во втором положении, в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0016] Фиг. 5 представляет стилизованную иллюстрацию вида поперечного разреза канюли видеозонда по Фиг. 2 в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0017] Фиг. 6 представляет стилизованную иллюстрацию вида поперечного разреза канюли видеозонда по Фиг. 2 в соответствии с другим аспектом настоящего изобретения.

[0018] Фиг. 7 представляет стилизованную иллюстрацию вида сзади поперечного разреза видеозонда вдоль линии сечения 8-8 по Фиг. 5 в соответствии с аспектом

5 настоящего изобретения.

[0019] Фиг. 8 представляет стилизованную иллюстрацию вида сзади поперечного разреза видеозонда, аналогичную Фиг. 7, но показывающую множество электродов в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0020] Фиг. 9 представляет стилизованную иллюстрацию вида сзади поперечного

10 разреза видеозонда, аналогичную Фиг. 7, но показывающую множество электродов в соответствии с другим аспектом настоящего изобретения.

[0021] Фиг. 10 представляет стилизованную иллюстрацию вида сзади поперечного разрезе оптического волокна по Фиг. 7 в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

15 [0022] На графических материалах элементы, имеющие одинаковые обозначения, имеют те же или аналогичные функции.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0023] В последующем описании конкретные детали изложены для описания некоторых вариантов реализации изобретения. Тем не менее, специалистам в данной области техники будет очевидно, что описанные варианты реализации изобретения могут быть осуществлены без некоторых или всех этих конкретных деталей. Конкретные представленные варианты реализации изобретения предназначены для иллюстрации, но не для ограничения. Специалист в данной области может реализовать другие материалы, которые, хотя и не описаны конкретно в настоящем документе, но находятся в пределах объема и сущности настоящего изобретения. Любые изменения и дальнейшие модификации описанных устройств, систем и способов, и любые дополнительные практические применения принципов настоящего изобретения в полной мере предусмотрены и включены в объем настоящего изобретения, что как правило, встречается специалисту в данной области, к которой относится изобретение. В частности, в полной мере предполагается, что конструктивные особенности, компоненты и/или этапы, описанные по отношению к одному из вариантов реализации изобретения, могут быть объединены с конструктивными особенностями, компонентами и/или этапами, описанными по отношению к другим вариантам реализации настоящего изобретения. Тем не менее, для краткости изложения, многочисленные итерации этих комбинаций не будут описаны отдельно.

[0024] Настоящее изобретение относится в целом к зондам ОКТ, системам ОКТ и способам, с помощью которых сканируют ткани для того, чтобы получить ОКТ изображение. Зонд может содержать канюлю, сконфигурированную с возможностью инвазивного введения в ткани пациента, например, в глазное яблоко. В канюле могут размещаться линза и оптическое волокно. Волокно направляет свет через линзу и захватывает отраженный свет, который проходит обратно через линзу. Чтобы получить сканирование области или линии ткани, а не всего лишь точки, волокно может перемещаться в пределах канюли по отношению к линзе для того, чтобы вызвать сканирование светом, исходящим из линзы, в пределах требуемой модели. В силу того, что канюля, которую вводят в ткани пациента, является необходимо малой в поперечном сечении, перемещение волокна внутри канюли затруднено. Малая величина свободного пространства внутри зонда ограничивает типы исполнительных приводов, которые могут быть использованы для придания движения волокну. В некоторых случаях

желательно изготовление зонда, или по меньшей мере его части, в качестве одноразового компонента, что предусматривает проектирование изделий, имеющих экономически эффективные технологии производства.

5 [0025] Приводимые в качестве примера аспекты изобретения, описанные в настоящем документе, используют технику перемещения всего волокна или некоторой его части
внутри зонда, используя систему исполнительного привода, расположенную внутри
зонда, что преодолевает одну или более из проблем или ограничений прежних подходов.
В соответствии с различными аспектами изобретения, описанными в настоящем
документе, система исполнительного привода может содержать заряженный электрод.
10 Приведение в действие оптического волокна может быть достигнуто посредством
создания электростатической или кулоновской силы между оптическим волокном и
заряженным электродом. Оптическое волокно может притягиваться (*например*,
приближаться к) или отталкиваться (*например*, отодвигаться) от электрода в
зависимости от соответствующих зарядов одного из: оптического волокна и электрода,
15 или их обоих. В некоторых аспектах изобретения система исполнительного привода
может быть выполнена с возможностью передавать усиленное движение дистальной
части оптического волокна. Например, оптическое волокно может быть расположено
внутри зонда так, что дистальный конец оптического волокна проходит за дистальный
конец электрода так, что движение, сообщаемое дистальной части оптического волокна,
20 усиливается по отношению к перемещению части оптического волокна вблизи электрода
и/или в продольном направлении на одинаковом протяжении с электродом.

[0026] В некоторых аспектах изобретения по меньшей мере часть оптического волокна
(*например*, дистальная часть) содержит электропроводящее покрытие. Напряжение
может быть приложено к электропроводящему покрытию оптического волокна так,
25 что электропроводящий проводник является заряженным либо положительно, либо
отрицательно. Оптическое волокно может содержать изолирующий слой. Изолирующий
слой может содержать диэлектрический материал.

[0027] В некоторых аспектах изобретения заряженный электрод может быть
расположен во внутренней части канюли оптического зонда. В некоторых аспектах
30 изобретения может быть предусмотрено множество отдельных электродов. Множество
электродов может быть расположено кольцеобразно вокруг оптического волокна во
внутренней части канюли. Например, система исполнительного привода может иметь
первый и второй электроды, проходящие в продольном направлении вдоль канюли и
разнесенные на 180° по отношению друг к другу. В некоторых аспектах изобретения
35 первый электрод и электропроводящее покрытие оптического волокна могут иметь
заряды противоположной полярности для того, чтобы создать притягивающую
электростатическую силу. Оптическое волокно может приближаться к первому
электроду с помощью притягивающей электростатической силы. В дополнение, в
некоторых аспектах изобретения второй электрод и электропроводящее покрытие
40 оптического волокна могут иметь заряды одинаковой полярности для того, чтобы
создать отталкивающую электростатическую силу. Оптическое волокно может
выталкиваться в сторону от второго электрода (и по направлению к первому электроду)
с помощью отталкивающей электростатической силы. Оптическое волокно и указанные
два электрода могут быть электрически соединены с контроллером, подающим
45 напряжение и электрические заряды для трех цепей (*например*, оптическому волокну
и двум электродам).

[0028] В некоторых аспектах изобретения электроды могут быть электрически
изолированы от канюли и/или оптического волокна посредством изолирующего и/или

диэлектрического слоя или покрытия между электродами и канюлей и/или оптическим волокном. В некоторых аспектах изобретения указанные электроды могут быть электрически изолированы посредством изолирующего слоя. Изолирующий слой может содержать диэлектрический материал.

5 [0029] В некоторых аспектах изобретения, чтобы обеспечить колебания оптического волокна, контроллер может прикладывать положительное напряжение к волокну и заряжать его положительным зарядом в течение половины частотного цикла. К одному электроду в канюле может прикладываться отрицательное напряжение, которое
10 заряжает его отрицательным зарядом. К другому электроду может прикладываться положительное напряжение, которое заряжает его положительным зарядом.

Противоположно заряженные оптическое волокно и один из электродов притягиваются друг к другу из-за противоположной полярности электрических полей. Оптическое
15 волокно и электрод, которые заряжены одинаково, отталкиваются друг от друга из-за одинаковой полярности электрических полей. Вторая половина цикла может быть повторением первой половины с переключаемой полярностью оптического волокна или переключаемыми полярностями электродов. В некоторых вариантах реализации изобретения полярность волокна может оставаться неизменной на протяжении всего цикла, в то же время полярность электродов чередуется в течение каждой половины цикла.

20 [0030] В некоторых аспектах изобретения представлены компактные по размерам и недорогие системы исполнительного привода для зонда ОКТ. В некоторых аспектах изобретения системы исполнительного привода обеспечивают возможность перемещать дистальный кончик оптического волокна в двух измерениях во время процесса сканирования.

25 [0031] Фиг. 1 представляет графический схематический вид компоновки, иллюстрирующий аспекты настоящего изобретения. В частности, показано глазное яблоко 100 при лечении. Глазное яблоко 100 содержит склеру 102, роговицу 104, переднюю камеру 106 и заднюю камеру 108. Капсулярный мешок 110 проиллюстрирован в задней камере 108. Глазное яблоко 100 дополнительно содержит сетчатку 112.

30 [0032] На Фиг. 1 также проиллюстрирована приводимая в качестве примера система визуализации 120. Как описано более подробно ниже, система визуализации 120 сконфигурирована для представления изображения частей глазного яблока 100, таких как сетчатка 112. Система визуализации 120 может содержать источник света 122, систему оптической когерентной томографии (ОКТ) 124, контроллер 126, интерфейс
35 пользователя 128 и зонд 130. Источник света 122 выполнен с возможностью образования светового пучка, формирующего изображение, который будет направлен на целевые биологические ткани посредством указанного зонда 130. Источник света 122 может быть выполнен из суперлюминесцентных светодиодов, ультракоротких импульсных лазеров или суперконтинуумных лазеров, которые обеспечивают излучение света
40 сравнительно длинноволнового диапазона, например, как между от 700 нм и 1400 нм, между 700 нм и 900 нм, между 900 нм и 1200 нм, между 1000 нм и 1100 нм, между 1250 нм и 1450 нм или между 1400 нм и 1600 нм. Световой пучок, формирующий изображение, отраженный от целевой биологической ткани и захваченный зондом 130, используется для формирования изображений целевой биологической ткани.

45 [0033] Система ОКТ 124 сконфигурирована для разделения светового пучка, формирующего изображение, полученного от источника света 122, на луч формирующий изображение, который направляется на целевую биологическую ткань посредством зонда 130, и опорный луч, который может быть направлен на опорное зеркало. Система

ОКТ 124 может представлять собой систему в спектральной области или систему во временной области. Система ОКТ 124 дополнительно сконфигурирована для приема светового пучка, формирующего изображение, отраженного от биологической ткани-мишени и захваченного посредством зонда 130. Картина интерференции между
5 отраженным световым пучком, формирующим изображение, и опорным лучом используется для формирования изображений целевой биологической ткани. Соответственно, система ОКТ 124 может содержать детектор, выполненный с возможностью обнаружения картины интерференции. Указанный детектор может содержать Приборы с Зарядовой Связью ПЗС (CCDs), пиксельные детекторы, или
10 матрицу любого другого типа датчика (ов), которые генерируют электрический сигнал на основе обнаруженного света. Кроме того, детектор может содержать двумерную матрицу датчика и камеру детектора.

[0034] Контроллер 126 может содержать процессор и запоминающее устройство, которое может содержать одну или более исполняемых программ для управления
15 характеристиками источника света 122, интерфейс пользователя 128 и/или зонд 130, а также для осуществления и выполнения функций и процессов выполнения процедуры визуализации ОКТ. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения контроллер 126 сконфигурирован с возможностью управлять системой приведения в действие зонда 130, выполненного с возможностью сканирования лучом, формирующим
20 изображение, целевых биологических тканей.

[0035] Один или более из: источника света 122, системы ОКТ 124, контроллера 126 и интерфейса пользователя 128 могут быть реализованы в отдельных корпусах, коммуникативно соединенных друг с другом, или внутри общей консоли или корпуса. Например, в некоторых вариантах реализации изобретения источник света 122, система
25 ОКТ 124 и контроллер расположены в консоли, которая коммуникативно соединена с интерфейсом пользователя 128. Интерфейс пользователя 128 может быть выполнен или входить в состав консоли. Дополнительно, интерфейс пользователя 128, или по меньшей мере его часть (части), могут быть отделены от консоли. Интерфейс пользователя 128 может содержать дисплей, сконфигурированный с возможностью
30 представлять изображения для пользователя или пациента, а также отображения сканируемой с помощью зонда 130 ткани во время процедуры визуализации ОКТ. Интерфейс пользователя 128 может также содержать устройства или системы ввода, включая, в качестве не имеющего ограничительного характера примера, клавиатуру, мышь, джойстик, сенсорный экран, рукоятки настройки и кнопки, наряду с некоторыми
35 другими устройствами ввода.

[0036] Зонд 130 находится в оптической коммуникации с системой ОКТ 124. В этой связи, зонд 130 выполнен с возможностью подавать свет от источника света 122, который проходит через систему ОКТ 124 на целевую биологическую ткань с целью визуализации ткани. Дополнительно, зонд может быть электрически связан с контроллером 126. В
40 этой связи, контроллер 126 может управлять системой приведения в действие зонда 130 посредством посылаемых к зонду 130 электрических сигналов для того, чтобы побудить систему приведения в действие сканировать лучом формирующим изображение, целевые биологические ткани. Кабель 132 может соединять зонд 130 с системой ОКТ 124 и/или контроллером 126. В этой связи, кабель 132 может содержать оптическое волокно
45 (волокна), электрический проводник (проводники), изолятор (изоляторы), экран (экраны) и/или другие конструктивные особенности, сконфигурированные для облегчения оптической и/или электрической коммуникации между зондом 130 и системой ОКТ 124 и/или контроллером 126. Кроме того, следует понимать, что кабель 132 может

содержать множество отдельных кабелей. Например, в некоторых случаях оптический кабель соединяет зонд 130 с системой ОКТ 124, а отдельный электрический кабель соединяет зонд 130 с контроллером 126.

5 [0037] Контроллер 126 может находиться в электрической коммуникации с одним или более электродами (*например*, электродами 194 и 196 на Фиг. 3, электродами 232 и 242 на Фиг. 8, электродами 262, 272 и 282 на Фиг. 9, электродами 302, 312, 322 и 332 на Фиг. 10 и т.д.) и/или электропроводящим слоем оптического волокна 138. Контроллер 126 может прикладывать напряжение и/или вызывать подачу положительного или отрицательного напряжения к одному или более электродам и/или электропроводящему слою оптического волокна 138 (*например*, от источника напряжения системы визуализации 120, такого как батарея, и т.д.). В этой связи, система визуализации 120 может содержать один или более источников напряжения (*например*, по одному источнику напряжения для каждого из электродов и/или электропроводящего слоя оптического волокна 138).

15 [0038] Система визуализации 120 может содержать коннектор, который предназначен для облегчения разъёмного соединения зонда 130 и/или кабеля 132 с системой ОКТ 124 и/или контроллером 126. Разъём предназначен для облегчения механического, оптического и/или электрического соединения зонда 130 и/или кабеля 132 с системой ОКТ 124 и/или контроллером 126. Например, оптическое волокно 138, проходящее
20 вдоль длины зонда 130, оптически соединяется с системой ОКТ 124 посредством соединения коннектора с системой ОКТ 124. Оптическое волокно 138 может представлять собой единичное волокно или пучок волокон. В некоторых вариантах реализации изобретения коннектор выполнен с возможностью резьбового соединения с системой ОКТ 124 и/или контроллером 126. Тем не менее, следует понимать, что
25 любой тип селективного соединительного элемента (элементов) или коннекторов может быть использован, в том числе, без ограничения, прессовая посадка, винтовое соединение типа Люэр, резьбы, а также их комбинации, в том числе соединение других типов. В некоторых аспектах изобретения коннектор располагается проксимально по отношению к системе ОКТ 124 и/или контроллеру 126. Селективное соединение коннектора с
30 системой ОКТ 124 и/или контроллером 126 позволяет представить весь зонд 130 в качестве одноразового компонента, сконфигурированного для использования в одной процедуре.

[0039] Зонд 130 имеет такие размеры и форму, чтобы мог управляться хирургом и проникать внутрь тела пациента. Зонд 130 содержит корпус 140, имеющий
35 проксимальную часть 142 и дистальную часть 144. Дистальная часть 142 корпуса 140 может быть подобрана по размерам и форме для ручного захвата пользователем. Например, проксимальная часть 142 корпуса 140 может определять рукоятку 146. Рукоятка 146 может быть подобрана по размерам и форме для захватывания одной рукой пользователя. Кроме того, рукоятка 146 может содержать текстурированную
40 поверхность 148 (*например*, шероховатую, рифленую, с выступами/выемками, коническую, другие конструктивные особенности поверхности и/или их комбинации) для улучшения захвата пользователем рукоятки 146. При использовании, пользователь управляет положением дистальной части 144 корпуса 140 путем маневрирования рукояткой 146 таким образом, что луч, формирующий изображение, направляется к
45 целевой биологической ткани.

[0040] Дистальная часть 144 зонда 130 может быть подобрана по размерам и форме для введения в подлежащее лечению глазное яблоко 100. В варианте реализации изобретения, проиллюстрированном на **Фиг. 1**, дистальная часть 144 зонда 130 содержит

канюлю 150. Канюля 150 может быть подобрана по размерам и форме для введения через склеру 102 глазного яблока 100 для облегчения визуализации сетчатки 112. Канюля 150 может быть выполнена как единое целое с рукояткой 146 в виде части корпуса 140. В качестве альтернативы, канюля 150 и рукоятка 146 могут быть отдельными компонентами, жестко прикрепленными друг к другу для формирования корпуса 140. Оптический элемент 152, такой как линза, может быть закреплен в пределах дистального конца канюли 150. Оптический элемент 152 выполнен с возможностью фокусировки светового изображения на целевой биологической ткани, такой как сетчатка 112. Оптический элемент 152 может представлять собой, *например*, градиентную линзу (ГРИН), любую другую подходящую линзу, любой подходящий оптический компонент (компоненты), или их комбинацию. В зависимости от варианта реализации изобретения градиентная линза может быть сферической, осевой или радиальной. Оптический элемент 152 также может представлять собой сферическую линзу. Могут быть использованы линзы, которые имеют другие формы.

[0041] Как описано более подробно ниже, оптическое волокно 138 перемещается по отношению к оптическому элементу 152 посредством системы исполнительного привода, расположенной внутри зонда 130, чтобы вызвать сканирование части целевой биологической ткани лучом, формирующим изображение, фокусируемым оптическим элементом 152. **Фиг. 2 и 5-10**, описанные ниже, иллюстрируют различные приводимые в качестве примера варианты реализации изобретения систем исполнительного привода в соответствии с настоящим изобретением. В этой связи следует понимать, что системы исполнительного привода из настоящего изобретения могут быть размещены внутри рукоятки 146, внутри канюли 150 и/или их комбинации для перемещения оптического волокна 138 по заданной модели сканирования.

[0042] Расстояние фокальной точки луча, формирующего изображение, от дистального конца зонда 130 может быть определено посредством оптического элемента 152, величины зазора между дистальным концом оптического волокна 138 и проксимальной поверхностью оптического элемента 152, числовой апертуры оптического волокна 138, и/или длины волны света луча, формирующего изображение. Например, в некоторых случаях оптическая сила оптического элемента 152 и/или величина зазора выбирается так, чтобы иметь глубину фокусировки, соответствующую возможному расстоянию дистального конца зонда 130 от целевой биологической ткани во время использования. В некоторых вариантах реализации зонда 130 для визуализации сетчатки, фокальная точка луча, формирующего изображение, может находиться между 1 и 20 мм, между 5 мм и 10 мм, между 7 и 8 мм или около 7,5 мм по отношению к дистальному концу зонда 130.

[0043] Приведенное ниже описание в целом относится к **Фиг. 2 и 5**. **Фиг. 2** представляет стилизованную иллюстрацию вида сбоку поперечного разреза видеозонда 190 в соответствии с аспектом настоящего изобретения. **Фиг. 5** представляет стилизованную иллюстрацию вида поперечного разреза канюли видеозонда по **Фиг. 2** в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0044] Как показано, оптическое волокно 138 проходит вдоль длины зонда 190 через рукоятку 146 и канюлю 150. Оптическое волокно 138 может быть консольно-закрепленным. Иными словами, проксимальный участок оптического волокна 138 может быть закреплен на проксимальной части зонда 190, а дистальный участок 218 оптического волокна 138 являться подвижным по отношению к рукоятке 146 и/или канюле 150. В проиллюстрированном варианте реализации изобретения по меньшей мере часть системы исполнительного привода 192 располагается внутри канюли 150.

Система исполнительного привода 192 выполнена с возможностью передавать движение оптическому волокну 138 так, что дистальный конец 180 оптического волокна 138 перемещается относительно канюли 150 и оптического элемента 152, который неподвижно прикреплен к канюле. Более конкретно, дистальный конец 180 оптического
5 волокна 138 может быть перемещен относительно оптического элемента 152 для сканирования луча, формирующего изображение, по заданной модели в соответствии с целевой биологической тканью.

[0045] Оптический элемент 152 выполнен с возможностью фокусировать луч, формирующий изображение, полученный из оптического волокна 138, на целевой
10 биологической ткани. В этой связи, оптический элемент 152 содержит проксимальную поверхность 182 и дистальную поверхность 184. Луч, формирующий изображение, поступает в оптический элемент 152 через проксимальную поверхность 182 и выходит из оптического элемента 152 через дистальную поверхность 184. Как показано, проксимальная поверхность 182 оптического элемента 152 может проходить под косым
15 углом по отношению к продольной оси канюли 150. В связи с тем, что проксимальная поверхность 182 ориентирована под косым углом, величина отражения, полученного от луча, формирующего изображение, который входит в оптический элемент 152, может быть уменьшена. В других вариантах реализации изобретения проксимальная поверхность 182 проходит перпендикулярно к продольной оси канюли 150.

[0046] Дистальный конец 180 оптического волокна 138 может быть расположен на
20 расстоянии от проксимальной поверхности 182 оптического элемента 152. В этой связи, расстояние между дистальным концом 180 оптического волокна 138 и проксимальной поверхностью 182 оптического элемента 152 может быть выбрано для достижения желаемой оптической характеристики (*например*, фокусного расстояния, размера
25 фокуса и т.д.). Расстояние между дистальным концом 180 оптического волокна 138 и проксимальной поверхностью 182 оптического элемента 152 также может быть выбрано для того, чтобы обеспечить желаемый диапазон перемещения оптического волокна 138 внутри канюли 150 без физического соприкосновения с оптическим элементом 152. Оптический элемент 152 может быть механически соединен с дистальным концом 180
30 оптического волокна 138 таким образом, что оптический элемент 152 перемещается с дистальным концом 180 оптического волокна 138.

[0047] Система исполнительного привода 192 выполнена с возможностью передавать движение оптическому волокну 138 таким образом, что дистальный конец 180
35 оптического волокна 138 может быть перемещен относительно оптического элемента 152 для сканирования луча, формирующего изображение, по заданной модели в соответствии с целевой биологической тканью. Система исполнительного привода 192 может содержать по меньшей мере один электрод (*например*, один, два, три, четыре или более электродов). Более конкретно, система исполнительного привода 192 выполнена с возможностью генерации электростатической силы между оптическим
40 волокном 138 и электродом посредством прикладывания напряжения к электроду и его зарядки. Путем избирательной зарядки электрода, оптическое волокно 138 может совершать колебания относительно оптического элемента 152 во время процесса сканирования.

[0048] В некоторых вариантах реализации изобретения все или некоторые части
45 оптического волокна 138 внутри зонда 190 (*например*, дистальный конец 180) перемещаются, например, в диапазоне между 10 мкм и 500 мкм, между 50 мкм и 500 мкм, между 100 мкм и 400 мкм или между 100 мкм и 300 мкм по всей проксимальной поверхности 182 оптического элемента 152. Результирующее оптическое сканирование

отображает целевую биологическую ткань на расстоянии, например, между 1 мм и 20 мм от дистального конца канюли 150 (*например*, фокальной точки луча, формирующего изображение, как описано выше). Линейная протяженность луча, формирующего изображение, в целевой биологической ткани может находиться в диапазоне между 1 мм и 10 мм, между 1 мм и 8 мм или между 1 мм и 5 мм. Например, может быть от около 50х до около 1000-кратного увеличения расстояния перемещений волокна по проксимальной поверхности 182 оптического элемента 152 по сравнению с линейной протяженностью луча изображения в целевой биологической ткани.

[0049] Один или более электродов системы исполнительного привода 192 могут быть выполнены из или могут содержать электропроводящий материал, такой как один или более металлов. Электрод может быть выполнен из материала, который не является электропроводящим, но который покрыт электропроводящим слоем.

Электропроводящий слой может быть соединен с материалом, который не является электропроводящим, с использованием химических процессов, таких как гальванический способ, электролизное напыление, распыление, горячее погружение, химическое осаждение из паровой фазы, ионное осаждение из паровой фазы, и т.д.; подходящего адгезива (*например*, клея, эпоксидной смолы и др.); механического соединения; и/или их комбинаций. Форма электрода может быть плоской, изогнутой или представлять собой некоторую их комбинацию.

[0050] Наружная поверхность по меньшей мере части оптического волокна 138 может содержать электропроводящий слой (*например*, вся протяженность оптического волокна 138 во внутренней части зонда 190 или дистальная часть 218 оптического волокна 138). Подразумевается, в тех случаях, когда оптическое волокно описывается как содержащее электропроводящий слой, что электропроводящий слой может представлять собой компонент, который отличается от самого оптического волокна, например, покрытие, оболочка и т.д., который наносится и/или иным образом соединяется с оптическим волокном. Электропроводящий слой может быть соединен с оптическим волокном 138 с использованием химических процессов, таких как гальванический способ, электролизное напыление, распыление, горячее погружение, химическое осаждение из паровой фазы, ионное осаждение из паровой фазы, и т.д.; подходящего адгезива (*например*, клея, эпоксидной смолы и др.); механического соединения; и/или их комбинаций. Электропроводящее покрытие может содержать золото, алюминий, и т.д.

[0051] Один или более электродов системы исполнительного привода 192 и/или оптическое волокно 138 имеют электрическую связь с контроллером (*например*, контроллер 126 по Фиг. 1) посредством одного или более проводников. Контроллер может быть сконфигурирован для прикладывания напряжения к и/или вызвать прикладывание напряжения к электроду и/или к электропроводящему покрытию оптического волокна 138. Напряжение может иметь полярность (*например*, положительное напряжение или отрицательное напряжение). Когда прикладывается напряжение, электрод и/или электропроводящее покрытие оптического волокна 138 может получить заряд с полярностью (*например*, положительный заряд или отрицательный заряд). Например, когда положительное напряжение прикладывается к электроду, электрод приобретает положительный заряд. Например, когда отрицательное напряжение прикладывается к электроду, электрод приобретает отрицательный заряд. Величина напряжения, прикладываемого к электроду и/или оптическому волокну 138, может быть одинаковой или различной (*например*, напряжение, прикладываемое к одному, может быть большим или меньшим, чем напряжение, прикладываемое к другому). В тех случаях, когда к электроду и/или

оптическому волокну 138 прикладывается напряжение, каждый является статически заряженным и имеет связанное с ним электрическое поле. Электрод и/или оптическое волокно 138 не являются частью полной цепи. В этой связи, электрод и/или оптическое волокно 138 могут быть рассмотрены в качестве конденсатора, в том аспекте, что
5 каждый из них сохраняет заряд до тех пор, пока не будет разряжен (*например*, при контакте с металлом или металлизированным объектом, который замыкает цепь через схемы в контроллере и т.д.).

[0052] Электростатическая или кулоновская сила может возникнуть между заряженными компонентами. Притягивающие электростатические силы возникают
10 между противоположно заряженными компонентами (*например*, между отрицательно заряженным электродом и положительно заряженным оптическим волокном). Отталкивающие электростатические силы возникают между одноименно заряженными компонентами (*например*, положительно заряженным электродом и положительно заряженным оптическим волокном). В силу того, что расстояние хода или расстояние,
15 на которое дистальный конец 180 оптического волокна 138 перемещается в течение частотного цикла (*например*, внутренний диаметр канюли минус диаметр волокна) является относительно малым, закон Кулона предусматривает, что электрические поля, связанные с одним или более электродами системы исполнительного привода 192 и/или оптическим волокном 138, являются относительно сильными, как и
20 электростатические силы.

[0053] Перемещение дистального конца 180 оптического волокна 138 может быть вызвано посредством избирательной зарядки электрода и/или оптического волокна 138 различными полярностями так, что притягивающие и/или отталкивающие электростатические силы возникают между одним или более из этих элементов зонда
25 190. Иными словами, к одному или более электродам и/или оптическому волокну 138 может прикладываться напряжение и/или они получают заряд. Основываясь на результирующих электростатических силах, оптическое волокно 138 может отталкиваться (с помощью отталкивающих электростатических сил), притягиваться (с помощью притягивающей электростатической силы), или может происходить и то и
30 другое в направлениях 210 или 208. Это вызывает перемещение дистального конца 180 оптического волокна 138 в направлениях, которые обозначены стрелками 204 или 206.

[0054] В некоторых вариантах реализации изобретения система исполнительного привода 192 содержит один электрод. Например, указанный электрод может быть расположен над оптическим волокном. Оптическое волокно может колебаться во время
35 процесса сканирования за счет избирательной зарядки и разрядки электрода и/или оптического волокна. В течение первой половины частотного цикла электрод и оптическое волокно могут быть заряжены так, что возникают притягивающие электростатические силы и оптическое волокно перемещается в направлении электрода. В течение второй половины частотного цикла электрод и/или оптическое волокно могут
40 быть разряжены так, что оптическое волокно перемещается в направлении, противоположном электроду из-за, *например*, массы оптического волокна, упругих восстанавливающих сил, возникших в оптическом волокне в течение первой половины частотного цикла, и/или одного или более восстанавливающих элементов. Направление перемещения во время второй половины частотного цикла может быть
45 противоположным направлению перемещения во время первой половины. Таким образом, оптическое волокно 138 может совершать колебания относительно оптического элемента 152 во время процесса сканирования.

[0055] В некоторых вариантах реализации изобретения система исполнительного

привода 192 содержит один электрод. В течение первой половины частотного цикла оптическое волокно 138 и электрод могут быть заряжены так, что возникает притягивающая или отталкивающая электростатическая сила. Электростатическая сила может вызвать перемещение оптического волокна 138, и, в частности, перемещение дистального конца 180 по отношению к оптическому элементу 152. Во время второй половины частотного цикла оптическое волокно 138 и электрод могут быть заряжены так, что возникает противоположная электростатическая сила (по сравнению с первой половиной частотного цикла). Указанная электростатическая сила может вызвать перемещение оптического волокна 138 и, в частности, перемещение дистального конца 180 по отношению к оптическому элементу 152. Направление перемещения во время второй половины частотного цикла может быть противоположным направлению перемещения во время первой половины. Таким образом, оптическое волокно 138 может совершать колебания относительно оптического элемента 152 во время процесса сканирования.

[0056] В некоторых вариантах реализации изобретения оптическое волокно 138 не заряжается во время процесса сканирования. Вместо этого заряжается по меньшей мере один электрод системы исполнительного привода 192. По этой причине в некоторых вариантах реализации изобретения оптическое волокно 138 не содержит электропроводящий слой. Оптическое волокно 138 может совершать колебания во время процесса сканирования без того, чтобы быть заряженным. Например, оптическое волокно 138 может представлять собой стекловолокно. Стекло способно с большой вероятностью получать положительный заряд, как указано в трибоэлектрическом ряде. Например, в течение первой половины частотного цикла отрицательное напряжение может избирательно прикладываться к электроду так, что электрод получает отрицательный заряд. В связи с разделением заряда и индуцированного заряда в оптическом волокне 138, оптическое волокно 138 получает положительный заряд, который генерирует притягивающие электростатические силы между оптическим волокном 138 и электродом. Например, во время второй половины частотного цикла положительное напряжение может избирательно прикладываться к электроду для генерирования отталкивающих электростатических сил между оптическим волокном 138 и по меньшей мере одним электродом. Направление перемещения во время второй половины частотного цикла может быть противоположным направлению перемещения во время первой половины. Таким образом, оптическое волокно 138 может совершать колебания относительно оптического элемента 152 во время процесса сканирования.

[0057] В некоторых вариантах реализации изобретения система исполнительного привода 192 содержит два электрода, несмотря на то, что в заданный момент времени в процессе сканирования заряжается только один электрод. Оптическое волокно 138 и один из электродов заряжаются во время первой и/или второй половине частотного цикла. В течение первой половины частотного цикла оптическое волокно 138 и один электрод могут быть заряжены так, что возникает притягивающая или отталкивающая электростатическая сила. Электростатическая сила может вызвать перемещение оптического волокна 138 и, в частности, перемещение дистального конца 180 по отношению к оптическому элементу 152. В течение второй половины частотного цикла оптическое волокно 138 и другой электрод могут быть заряжены так, что возникает притягивающая или отталкивающая электростатическая сила. Электростатическая сила может вызвать перемещение оптического волокна 138 и, в частности, перемещение дистального конца 180 по отношению к оптическому элементу 152. Направление перемещения во время второй половины частотного цикла может быть

противоположным направлению перемещения во время первой половины. Таким образом, оптическое волокно 138 может совершать колебания относительно оптического элемента 152 во время процесса сканирования.

5 [0058] В некоторых вариантах реализации изобретения система исполнительного привода 192 содержит два электрода, и в заданный момент времени в процессе сканирования заряжаются оба электрода. Оптическое волокно 138 и оба электрода заряжаются во время первой и/или второй половины частотного цикла. В течение первой половины частотного цикла оптическое волокно 138 и один из электродов могут получать заряд с первой полярностью, в то время как другой электрод получает заряд со второй полярностью. Поэтому, притягивающие электростатические силы возникают между оптическим волокном 138 и противоположно заряженным электродом; при этом отталкивающие электростатические силы возникают между оптическим волокном 138 и так же заряженным электродом. Электростатические силы вызывают перемещение оптического волокна 138. Во время второй половины частотного цикла полярность электродов может быть переключена, в то время как полярность оптического волокна 138 сохраняется без изменений, и/или полярность оптического волокна 138 может быть переключена, в то время как полярность электродов сохраняется той же. По этой причине возникают электростатические силы, которые противоположны по направлению по сравнению с первой половиной частотного цикла. Электростатические силы вызывают перемещение оптического волокна 138. Направление перемещения во время второй половины частотного цикла может быть противоположным направлению перемещения во время первой половины. Таким образом, оптическое волокно 138 может совершать колебания относительно оптического элемента 152 во время процесса сканирования.

25 [0059] В вариантах реализации изобретения, проиллюстрированных на **Фиг. 2 и 5**, представлены два электрода 194 и 196. Иными словами, система исполнительного привода 192 может содержать первый электрод и второй электрод. Форма электродов 194 и 196 может повторять форму канюли 150. Это означает, что электрод 194 и/или 196 могут проходить в изогнутом виде по меньшей мере вокруг части внутреннего периметра канюли 150. Электроды 194 и 196 могут быть симметрично расположены вокруг оптического волокна 138. Например, электроды 194 и 196 могут быть разнесены на 180° по отношению друг к другу. Угол, разделяющий сопредельные электроды системы исполнительного привода 192, может быть между 0° и 360° , между 30° и 330° , между 45° и 315° , между 60° и 300° , между 90° и 270° , между 120° и 240° , между 135° и 225° , между 150° и 210° и между 175° и 195° . В некоторых вариантах реализации изобретения сопредельные электроды расходятся под углом 90° , 120° или 180° .

[0060] Электроды 194 и 196 могут проходить в продольном направлении вдоль канюли 150. Канюля 150 может иметь протяженность в продольном направлении или длину 214. Электроды 194 и/или 196 могут иметь протяженность в продольном направлении или длину 216. Электроды 194 и 196 могут проходить по меньшей мере вдоль одной четвертой ($1/4$), одной трети ($1/3$), половины ($1/2$), три четвертых ($3/4$) или более длины канюли. То есть, отношение длины 216 электродов 194 и/или 196 к длине 214 канюли 150 может составлять по меньшей мере одну четверть ($1/4$), одну треть ($1/3$), половину ($1/2$), три четверти ($3/4$) или более. В других вариантах реализации изобретения отношение длины 216 к длине 214 является большим или меньшим, чем эти величины. В тех случаях, когда электроды 194 и 196 проходят вдоль канюли 150 на большее расстояние, между электродами 194 и 196 и оптическим волокном 138 образуется большее пространство для создания больших и более равномерно распределенных

электростатических сил. В некоторых вариантах реализации изобретения электроды 194 и 196 могут проходить на одинаковое расстояние в продольном направлении. В других вариантах реализации изобретения один из электродов 194 и 196 может быть длиннее, чем другой. В различных вариантах реализации изобретения электроды 194 и 196 могут быть полностью или частично установлены в рукоятке 146, канюле 150, и/или их комбинации. Электроды 194 и 196 могут быть неподвижно прикреплены к зонду 190 (*например*, рукоятке 146, канюле 150, и т.д.) с использованием подходящего адгезива (*например*, клея, эпоксидной смолы и т.д.); механического соединения; и/или их комбинации.

[0061] Оптическое волокно 138 может быть закреплено внутри рукоятки 146 так, что дистальный конец 180 оптического волокна 138 проходит в дистальном направлении за пределы дистальных концов электродов 194 и 196. Таким образом, дистальный конец 180 оптического волокна 138 консольно прикрепляется к электродам 194 и 196. В результате этого профиль перемещения дистального конца 180 оптического волокна 138 увеличивается по сравнению с профилем перемещения участка оптического волокна 138, который является проксимальным и/или коэксстенсивным по длине с электродами 194 и 196. Другими словами, перемещение дистального конца 180 оптического волокна 138 является большим, чем соответствующее перемещение проксимального/коэксстенсивного участка оптического волокна 138, который перемещается в тех случаях, когда оптическое волокно 138 и/или электроды 194 и 196 заряжаются. Например, когда проксимальный/коэксстенсивный участок оптического волокна 138 перемещается по направлению к электроду 194 (когда притягивается к электроду 194 и/или отталкивается электродом 196), как показано стрелкой 210, дистальный конец 180 оптического волокна 138 будет перемещаться, как показано стрелкой 204, на большее расстояние в том же самом направлении. Аналогичным образом, когда проксимальный/коэксстенсивный участок оптического волокна 138 перемещается по направлению к электроду 196 (когда притягивается к электроду 196 и/или отталкивается электродом 194), как показано стрелкой 208, дистальный конец 180 оптического волокна будет перемещаться, как показано стрелкой 206, на большее расстояние в том же направлении. Отношение перемещения дистального конца 180 оптического волокна 138 к перемещению проксимального/коэксстенсивного участка оптического волокна 138 может быть между 1,01:1,0 и 10,0:1,0, между 1,1:1,0 и 5,0:1,0 или между 1,5:1,0 и 2,0:1,0.

[0062] Электрод 194, электрод 196, и/или оптическое волокно 138 могут иметь электрическую связь с контроллером (*например*, контроллером 126 по **Фиг. 1**) с помощью проводников 198, 200 и 202 соответственно. В течение частотного цикла системы исполнительного привода 192 избирательное инициирование получения электрического заряда одним или более электродами и/или оптическим волокном 138 может генерировать электростатические силы между одним или более электродами и оптическим волокном 138.

[0063] Система исполнительного привода 192 сконфигурирована с возможностью перемещения оптического волокна 138 (*например*, дистальной части 218, дистального конца 180, и т.д.) из нейтрального положения в одно или более активированные положения. Дистальная часть 218 оптического волокна 138 может определять сегмент оптического волокна 138, проходящий в продольном направлении от точки зонда 190, где электроды 194 и/или 196 начинаются, до дистального конца 180 оптического волокна 138. В различных вариантах реализации изобретения длина 216 электродов 194 и/или 196 больше, меньше или равна длине дистальной части 218 оптического волокна 138. В некоторых вариантах реализации изобретения длина 220 дистальной части 218 больше,

чем длина 216 электродов, в результате чего дистальный конец 180 располагается более дистально в канюле 150, чем дистальный конец электродов 194 и/или 196.

[0064] Дистальная часть 218, которая приводится в действие, может быть описана как свободная длина оптического волокна 138. Свободная длина (*например*, длина 220 дистальной части 218) может быть различным образом выбрана на основании либо достаточной длины для приведения в действие, либо величины электростатических сил, или диаметра оптического элемента 152, и т.п. Например, дистальная часть 218 выбирается так, чтобы быть достаточно длинной, в результате чего электростатические силы могут преодолеть молекулярные силы оптического волокна 138, которые поддерживают структурную целостность и линейное/плоскостное расположение оптического волокна 138. Это означает, что электростатические силы могут действовать на протяжении достаточной длины оптического волокна 138, и/или вызвать достаточный изгибающий момент для того, чтобы согнуть оптическое волокно 138 в направлениях 208 и/или 210. В некоторых вариантах реализации изобретения длина 220 дистального участка 218 от дистального конца 180 оптического волокна 138, который приводится в действие, может составлять между 1 мм и 15 мм, между 3 мм и 12 мм и между 5 мм и 10 мм и т.д.

[0065] В нейтральном положении оптическое волокно 138 может быть размещено в любом расположении внутри просвета канюли 140. Например, все оптическое волокно 138 или некоторая его часть внутри зонда 190 могут быть соосными с продольной осью канюли 150 (как показано, *например*, на **Фиг. 2**), вблизи и/или в контакте с одной стенкой канюли 150 (как показано на, *например*, **Фиг. 3 и 4**), вблизи и/или в контакте с электродом, и т.п. В одном или более активированных положениях оптическое волокно 138 может располагаться ближе к электроду или дальше от электрода в результате действия электростатической силы между ними. Например, когда притягивающая электростатическая сила действует между электродом 194 и оптическим волокном 138, дистальная часть 218 оптического волокна 138 может перемещаться в направлении 210. Дистальный конец 180 оптического волокна 138 может, соответственно, перемещаться в направлении 204. (В некоторых вариантах реализации изобретения дистальный конец 180 может перемещаться в направлении 206, как описано ниже.)

[0066] Понятно, что перемещение оптического волокна 138 включает перемещение участка дистальной части 218 оптического волокна 138 относительно зонда 190, рукоятки 146, канюли 150, и/или оптического элемента 152. Например, как проиллюстрировано на **Фиг. 6**, притягивающие электростатические силы между оптическим волокном 138 и электродом 194 могут вызвать сгибание участка дистальной части 218 в сторону электрода 194. В силу того, что участок дистальной части 218 сгибается в сторону электрода 194, дистальная часть 218 смещается относительно канюли 150 и/или оптического элемента 152 так, что дистальная часть 218 перемещается в направлении 210 к электроду 194, а дистальный конец 180 перемещается в направлении 204. В различных вариантах реализации изобретения участок дистальной части 218, который сгибается в направлении электрода 194 и/или 196 может быть в пределах между 0% и 50%, между 10% и 40%, между 20% и 30% длины 220 дистальной части 218. В различных вариантах реализации изобретения участок дистальной части 218, который перемещается, может быть в пределах между 50% и 100%, между 60% и 90%, между 70% и 80% длины 220 дистальной части 218. Участок дистальной части 218, который сгибается, может быть более проксимальным, чем участок дистальной части 218, который перемещается.

[0067] Процесс сканирования, в ходе которого оптическое волокно 138 совершает

колебания относительно оптического элемента 152, может включать множество частотных циклов. Например, в течение первой половины частотного цикла, например, может прикладываться положительное напряжение к оптическому волокну 138, в результате чего оптическое волокно 138 приобретает положительный заряд (как показано на **Фиг. 6**). Отрицательное напряжение может прикладываться к электроду 194, в результате чего электрод 194 приобретает отрицательный заряд. Притягивающие электростатические силы между электродом 194 и оптическим волокном 138 могут вызвать перемещение оптического волокна 138 в направлении 210 (*например*, в направлении электрода 194). Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения, дистальный конец 180 может перемещаться в направлении 204 (*например*, как показано на **Фиг. 3**).

[0068] В вариантах реализации изобретения, в которых множество электродов заряжаются одновременно, в течение первой половины частотного цикла к электроду 196 может быть подано положительное напряжение, в результате чего электрод 196 приобретает положительный заряд (как показано на **Фиг. 6**). Отталкивающие электростатические силы между электродом 196 и оптическим волокном 138 (которое может быть положительно заряжено) могут вызвать перемещение оптического волокна 138 в направлении 210 (*например*, в направлении электрода 194). Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения, дистальный конец 180 может перемещаться в направлении 204 (как показано на **Фиг. 3**).

[0069] Например, в течение второй половины частотного цикла отрицательное напряжение может прикладываться к электроду 196, в результате чего электрод 196 получает отрицательный заряд. Притягивающие электростатические силы между электродом 196 и оптическим волокном 138 (которое может быть положительно заряжено) могут вызвать перемещение оптического волокна 138 в направлении 208 (*например*, в направлении электрода 196). Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения, дистальный конец 180 может перемещаться в направлении 206 (как показано на **Фиг. 4**).

[0070] В вариантах реализации изобретения, в которых множество электродов заряжаются одновременно, в течение второй половины частотного цикла к электроду 194 может прикладываться положительное напряжение, в результате чего электрод 194 приобретает положительный заряд. Отталкивающие электростатические силы между электродом 194 и оптическим волокном 138 (которое может быть положительно заряжено) могут вызвать перемещение оптического волокна 138 в направлении 208 (*например*, в направлении электрода 196). Соответственно, в некоторых вариантах реализации изобретения, дистальный конец 180 может перемещаться в направлении 206 (как показано на **Фиг. 4**).

[0071] По этому вопросу выше описано колебание оптического волокна 138 посредством поддерживания заряда оптического волокна 138 и переключения зарядов электродов 194 и 196. В других вариантах реализации изобретения заряды электродов 194 и 196 могут быть сохранены, а заряд оптического волокна 138 может быть изменен. В некоторых вариантах реализации изобретения заряды электродов 194 и 196 являются всегда противоположными во время процесса сканирования.

[0072] Напряжения, которые прикладываются к оптическому волокну 138, электроду 194 и/или электроду 196, или получаемые ими заряды, в описании настоящего документа приводятся только в качестве примера. Понятно, что отрицательное напряжение может избирательно прикладываться к оптическому волокну 138, электроду 194 и/или электроду 196, и ими может быть получен отрицательный заряд. Аналогичным образом,

положительное напряжение может избирательно прикладываться к оптическому волокну 138, электроду 194 и/или электроду 196, и ими может быть получен положительный заряд. Различными комбинациями положительных и отрицательных зарядов, получаемых оптическим волокном 138, электродом 194 и/или электродом 196 (и последующим генерированием притягивающих и/или отталкивающих электростатических сил) можно управлять с помощью, *например*, контроллера 126 системы визуализации 120 (Фиг. 1).

[0073] В некоторых вариантах реализации изобретения дистальная часть 218 оптического волокна 138 сохраняет линейный профиль во время колебаний. Например, когда дистальная часть 218 оптического волокна 138 перемещается в направлении 210, дистальный конец 180 может перемещаться в том же направлении, *например*, в направлении 204. В других вариантах реализации изобретения, как описано в настоящем документе, дистальная часть 218 оптического волокна 138 приобретает по меньшей мере частично дугобразную форму во время колебаний. Например, когда дистальная часть 218 оптического волокна 138 перемещается в направлении 210, дистальный конец 180 может перемещаться в противоположном направлении, *например*, в направлении 206. Такое перемещение может происходить, например, когда дистальная часть 218 оптического волокна 138 сгибается или отклоняется в направлении 210 в связи с притягивающей электростатической силой между электродом 194 и оптическим волокном 138, которые заряжаются различными полярностями. Дистальный конец 180, в ответ на сгибание или отклонение дистальной части 218, может перемещаться в направлении 206, в результате чего оптическое волокно 138 по меньшей мере частично приобретает дугобразную форму. Когда отталкивающая электростатическая сила возникает между электродом 194 и оптическим волокном 138 и/или притягивающая электростатическая сила возникает между электродом 196 и оптическим волокном 138, оптическое волокно 138 может вернуться в свое нейтральное положение. Дистальная часть 218 оптического волокна 138 может перемещаться в направлении 208, а дистальный конец 180 оптического волокна 138 может перемещаться в направлении 204. В связи с отталкивающей электростатической силой, возникающей между электродом 194 и оптическим волокном 138, и/или притягивающей электростатической силой, возникающей между электродом 196 и оптическим волокном 138, оптическое волокно 138 может переместиться назад в нейтральное положение. Когда это происходит, дистальная часть 218 может сгибаться или отклоняться в направлении 208, а дистальный конец 180 может перемещаться в направлении 204, в результате чего оптическое волокно 138 по меньшей мере частично приобретает дугобразную форму. В некоторых вариантах реализации изобретения во время процесса сканирования, когда оптическое волокно 138 совершает колебания, дистальная часть 218 оптического волокна 138 периодически переключается по меньшей мере частично между дугобразными формами, которые являются зеркальными отражениями друг друга.

[0074] Когда один или более из: электрода 194, электрода 196, и/или оптического волокна 138 избирательно получают электрический заряд, вызывающий притягивающие и/или отталкивающие электростатические силы, оптическое волокно 138 может совершать колебания, как проиллюстрировано на Фиг. 3 и 4, и луч изображения может сканировать по всей целевой биологической ткани, такой как сетчатка. В некоторых вариантах реализации изобретения система исполнительного привода 178 выполнена с возможностью колебаний дистального конца 180 оптического волокна 138 в пределах диапазона частот между около 1 Гц и 100 Гц, между около 1 Гц и 50 Гц, между около 1 Гц и около 30 Гц, между около 5 Гц и 20 Гц, между около 10 Гц и 15 Гц, между около

1 Гц и 15 Гц и т.д., хотя в то же время предусматриваются другие диапазоны частот, как большие, так и меньшие. В некоторых вариантах реализации изобретения электрод 194, электрод 196, и/или оптическое волокно 138 могут не иметь заряд в течение половины частотного цикла и заряжаются в течение половины частотного цикла. В других вариантах реализации изобретения электрод 194, электрод 196, и/или оптическое волокно 138 могут иметь заряд с одной полярностью в половине частотного цикла и заряд с противоположной полярностью в половине частотного цикла.

Продолжительность, в течение которой электрод 194, электрод 196, и/или оптическое волокно 138 не заряжен, заряжен с одной полярностью, и/или заряжен с противоположной полярностью, может быть больше или меньше, чем половина частотного цикла.

[0075] Положения дистального конца 180 оптического волокна 138, показанного на Фиг. 3 и 4 также могут включать нейтральное положение системы исполнительного привода 192. В этой связи, дистальный конец 180 оптического волокна 138 может изначально быть в положении по Фиг. 3 или Фиг. 4, а затем перемещаться в положение на Фиг. 4 или Фиг. 3, соответственно, после того, как электрод 194, электрод 196, и/или оптическое волокно 138 будут заряжены и электростатические силы побеждают оптическое волокно 138 перемещаться в направлении 208 или 210. Когда электрод 194, электрод 196 и/или оптическое волокно 138 имеют противоположные заряды, оптическое волокно 138 перемещается в направлении, противоположном 210 или 208.

[0076] В некоторых вариантах реализации изобретения система исполнительного привода 192 может содержать один или более восстанавливающих элементов (*например*, спиральную пружину, пластинчатую пружину, и т.д.) для облегчения возврата оптического волокна 138 к исходному, нейтральному положению после того, как электростатические силы вызвали перемещение оптического волокна 138 в направлении 208 и/или 210. Восстанавливающий элемент (элементы) могут быть механическими и/или электромагнитными.

[0077] По меньшей мере часть оптического волокна 138 может иметь уменьшенный диаметр по сравнению с другими частями того же оптического волокна и/или стандартными оптическими волокнами. Например, дистальная часть 218 оптического волокна 138 может иметь уменьшенный диаметр. Дистальная часть 218 может содержать участок оптического волокна 138, который приводится в действие электростатически. Уменьшенный диаметр может быть между 1% и 99%, между 5% и 95%, между 10% и 90%, между 20% и 80%, между 30% и 70%, между 40% и 60% и т.д. от диаметра других частей того же оптического волокна и/или стандартных оптических волокон. Например, уменьшенный диаметр может быть в диапазоне от 2 мкм до 125 мкм, от 5 мкм до 120 мкм, и т.д. Результатом меньшего диаметра является меньшая площадь поперечного сечения. Для оптического волокна с меньшей площадью поперечного сечения может потребоваться меньший сгибающий момент, чтобы вызвать сгибание оптического волокна (*например*, когда дистальная часть оптического волокна 138 находится под действием электростатической силы). В некоторых вариантах реализации изобретения по меньшей мере часть оптического волокна 138 может сходиться на конус (*например*, посредством процесса экструзии, травления и т.д.). Например, часть оптического волокна 138, которая имеет уменьшенный диаметр, может быть конической. Во время сужения волокна геометрия оптического волокна может масштабироваться пропорционально. Например, при сужении волокна диаметром 125 мкм и сердцевинной диаметром 5 мкм в два раза, результатом является волокно диаметром 62,5 мкм и с сердцевинной диаметром 2,5 мкм. В некоторых вариантах реализации изобретения

диаметр оптического волокна 138 уменьшается путем травления дистальной части 218 таким образом, что общий диаметр уменьшается, а диаметр сердцевины остается тем же. Например, волокно с диаметром 125 мкм и с сердцевиной с диаметром 5 мкм может быть подвергнуто травлению так, что общий диаметр уменьшается до 62,5 мкм, а диаметр сердцевины остается 5 мкм.

[0078] Зонд 190 может содержать элемент жесткости 212, расположенный смежно с оптическим волокном 138. Элемент жесткости 212 может быть выполнен из материала, который является более жестким, чем оптическое волокно 138, в результате чего оптическое волокно 138 испытывает сгибающий момент (*например*, в результате своего собственного веса) только на дистальном участке дистального конца элемента жесткости 212. Элемент жесткости 212 может быть выполнен для добавления жесткости большей части (по сравнению с тем, когда элемент жесткости 212 не предусмотрен в зонде 190) оптического волокна 138 во внутренней части оптического волокна 138 таким образом, что оптическое волокно 138 удерживается в нейтральном положении соосно с продольной осью канюли 150.

[0079] В тех случаях, когда элемент жесткости 212 содержится в зонде 190, он может проходить в продольном направлении по меньшей мере вдоль части зонда 190 и оптического волокна 138. Элемент жесткости 212 может быть расположен полностью в канюле 150 или корпусе 146, или части элемента жесткости 212 могут быть частично расположены как в канюле 150, так и в корпусе 146. В некоторых вариантах реализации изобретения элемент жесткости 212 может быть описан как трубка жесткости, которая расположена кольцеобразно вокруг оптического волокна 138. Например, элемент жесткости 212 может проходить вокруг всего периметра оптического волокна 138. В других вариантах реализации изобретения элемент жесткости 212 может быть описан как пластина жесткости, расположенная смежно с участком оптического волокна 138. Такой элемент жесткости может быть линейным, изогнутым, или некоторой их комбинацией. Элемент жесткости 212 может быть прикреплен к указанному оптическому волокну 138 с помощью подходящего адгезива (*например*, клея, эпоксидной смолы и т.д.), механического соединения и/или их комбинации. Аналогичным образом элемент жесткости 212 может быть прикреплен к рукоятке 146 с помощью подходящего адгезива (*например*, клея, эпоксидной смолы и т.д.), механического соединения и/или их комбинации.

[0080] Когда элемент жесткости 212 поставляется в рукоятке 146, элемент жесткости 212 может быть согнут в направлении смещения, чтобы обеспечить соответствующую силу восстановления для оптического волокна 138 (*например*, в направлении нейтрального положения, когда оптическое волокно 138 расположено соосно с продольной осью канюли 150). Например, элемент жесткости 212 может быть согнут в направлении, указанном стрелкой 208 таким образом, что оптическое волокно 138 смещается в сторону нейтрального положения (*например*, в направлении, противоположном направлению 210, в которое оптическое волокно 138 переведено посредством притягивающих электростатических сил между оптическим волокном 138 и электродом 194). Элемент жесткости 212 может быть согнут в дополнение или вместо одного или более восстанавливающих элементов, которые сконфигурированы для возврата оптического волокна 138 в нейтральное положение.

[0081] Приведенное ниже описание в целом относится к Фиг. 7 , 8 , и 9 . Фиг. 7 и представляет стилизованную иллюстрацию вида сзади поперечного разреза видеозонда вдоль линии сечения 8-8 на Фиг. 5 в соответствии с аспектом настоящего изобретения. Фиг. 8 и 9 представляет стилизованную иллюстрацию вида сзади

поперечного разреза видеозонда, аналогичную **Фиг. 7**, но показывающую множество электродов в соответствии с аспектом настоящего изобретения.

[0082] Вариант реализации изобретения, проиллюстрированный на **Фиг. 7** содержит два электрода 232 и 242 внутри канюли 150. Электроды 232 и 242 могут быть размещены или расположены кольцеобразно вокруг оптического волокна 222, причем расположены симметрично вокруг оптического волокна 222, напротив друг друга, внутри двух, разделенных поровну, половин канюли 150, и/или разнесены на 180° по отношению друг к другу. Вариант реализации изобретения, проиллюстрированный на **Фиг. 8** содержит три электрода 264, 274 и 284 внутри канюли 150. Электроды 264, 274 и 284 могут быть размещены или расположены кольцеобразно вокруг оптического волокна 252, внутри трех, разделенных поровну, частей канюли 150, и/или разнесены на 120° по отношению друг к другу. Вариант реализации изобретения, проиллюстрированный на **Фиг. 9** содержит четыре электрода 302, 312, 322, и 332. Электроды 302, 312, 322, и 332 могут быть размещены или расположены кольцеобразно вокруг оптического волокна 292, причем расположены симметрично вокруг оптического волокна 292 напротив по меньшей мере одного другого электрода, внутри разделенных поровну четвертей канюли 150, и/или разнесены на 90° по отношению друг к другу.

[0083] Следует понимать, что ориентация и/или расположение электродов согласно **Фиг. 7, 8, и 9** могут варьироваться в различных вариантах реализации изобретения. Например, электроды 232 и 242 могут быть повернуты на 90° относительно оптического волокна 222 таким образом, что электроды 232 и 242 располагаются слева и справа в канюле 150 (по сравнению с расположением вверху и внизу канюли 150, когда канюля 150 рассматривается с позиции, показанной на **Фиг. 7**). Например, два из электродов 262, 272, и 282 могут быть расположены вблизи друг от друга и на отдалении от третьего электрода (по сравнению с расположением внутри трех, разделенных поровну частей, как показано на **Фиг. 8**).

[0084] Профили перемещения, описанные в контексте систем исполнительного привода с двумя электродами, как показано, *например*, на **Фиг. 7**, как правило, ориентированы на линейное перемещение оптического волокна 138 внутри канюли, и могут быть использованы для получения соответствующего линейного сканирования луча, формирующего изображение, по всей целевой биологической ткани. В других вариантах реализации изобретения (как показано, *например*, на **Фиг. 8 и 9**), система исполнительного привода содержит три, четыре, или более электродов, которые могут быть избирательно активированы наряду с оптическим волокном для сканирования оптическим волокном и лучом, формирующим изображение в пределах двухмерной модели сканирования. Указанная двухмерная модель сканирования может включать спираль, растр, звезду постоянного радиуса, звезду множественных радиусов, многократно наложенную траекторию, другие двухмерные схемы сканирования, другие модели и/или их комбинации.

[0085] Например, модель сканирования по звезде постоянного радиуса может быть достигнута с использованием проиллюстрированного варианта реализации изобретения на **Фиг. 9**. Контроллер, *например*, контроллер 126 системы визуализации 120 (**Фиг. 1**) может выполнить или вызвать выполнение описанных ниже шагов. Электрод 262 и оптическое волокно 252 могут быть заряжены противоположными полярностями, в результате чего возникает притягивающая электростатическая сила, вызывающая перемещение оптического волокна 252 в направлении электрода 262. Одинаковые величина и полярность напряжения могут прикладываться к электродам 272 и 282, в результате чего они заряжаются так же, как и электрод 262, в то время как электрод

262 остается заряженным. Оптическое волокно 252 подвергается воздействию равных, притягивающих электростатических сил в направлениях электродов 262, 272 и 282, вызывающих перемещение оптического волокна 252 в нейтральное положение (например, соосно с продольной осью канюли 150). Таким образом, первый луч

5 (например, в направлении электрода 252) звезды сканируется.

[0086] Для сканирования последующего луча (например, в направлении электрода 272) звезды, напряжение той же полярности, что и напряжение, приложенное к оптическому волокну 252, может прикладываться к электродам 262 и 282, в результате чего электроды 262 и 282 приобретают одинаковую с оптическим волокном 252

10 полярность заряда, и возникают отталкивающие электростатические силы между оптическим волокном 252 и электродами 262 и 282. Заряд оптического волокна 252 сохраняется (по сравнению с зарядом оптического волокна 252 во время сканирования первого луча звезды). Заряд электрода 272 также сохраняется (по сравнению с зарядом электрода 272, когда все три электрода были одинаково заряженными), в результате

15 чего притягивающая электростатическая сила продолжает действовать между оптическим волокном 252 и электродом 272. В связи с притягивающей электростатической силой между оптическим волокном 252 и электродом 272, и отталкивающими электростатическими силами между оптическим волокном 252 и электродами 262 и 282, оптическое волокно 252 может перемещаться в направлении

20 электрода 272. Одинаковые величина и полярность напряжения могут прикладываться к электродам 262 и 282 (по сравнению с напряжением, приложенным к электроду 272, при этом все три электрода были одинаково заряжены), в результате чего они заряжаются так же, как электрод 272, в то время как заряд электрода 272 сохраняется. Оптическое волокно 252 подвергается воздействию равных притягивающих

25 электростатических сил в направлениях электродов 262, 272 и 282, вызывающих перемещение оптического волокна 252 в нейтральное положение (например, соосно с продольной осью канюли 150). Таким образом, второй луч (например, в направлении электрода 262) звезды сканируется.

[0087] Чтобы сканировать последний луч (например, в направлении электрода 282) звезды, может быть повторена аналогичная процедура, которая описана относительно сканирования второго луча звезды. Напряжение той же полярности, что и напряжение, приложенное к оптическому волокну 252, может прикладываться к электродам 262 и 272, в результате чего электроды 262 и 272 получают одинаковую с оптическим волокном 252 полярность заряда, а отталкивающие электростатические силы возникают между

35 оптическим волокном 252 и электродами 262 и 272. Заряд оптического волокна 252 сохраняется (по сравнению с зарядом оптического волокна 252 во время сканирования первого луча звезды). Заряд электрода 282 также сохраняется (по сравнению с зарядом электрода 282, когда все три электрода были одинаково заряжены), в результате чего притягивающая электростатическая сила продолжает существовать между оптическим

40 волокном 252 и электродом 282. В силу притягивающей электростатической силы между оптическим волокном 252 и электродами 282, и отталкивающими электростатическими силами между оптическим волокном 252 и электродами 262 и 272, оптическое волокно 252 может перемещаться в направлении электродов 282. Одинаковые величина и полярность напряжения могут прикладываться к электродам 262 и 272 (по сравнению

45 с напряжением, приложенным к электроду 282, при этом все три электрода были одинаково заряженными), в результате чего они заряжаются так же, как и электрод 282, в то время как заряд электрода 282 сохраняется. Оптическое волокно 252 подвергается воздействию равных притягивающих электростатических сил в

направлениях электродов 262, 272 и 282, вызывающих перемещение оптического волокна 252 в нейтральное положение (*например*, соосно с продольной осью канюли 150). Таким образом, третий луч (*например*, в направлении электрода 262) звезды сканируется.

5 [0088] Двухмерная модель сканирования, описанная выше, является примером, не имеющим ограничительного характера. Например, одно, два, три, четыре, пять, или более лучей модели звезды могут быть отсканированы. Например, электропроводящий слой 224 и/или один или более из электродов 302, 312, 322, и 332 по **Фиг. 9** могут селективно заряжаться и разряжаться, в результате чего оптическое волокно 222 перемещается для выполнения растрового сканирования. Другие одномерные и/или
10 двухмерные модели сканирования могут быть реализованы посредством устройств, систем и способов, описанных в настоящем документе. В некоторых вариантах реализации изобретения оптическое волокно и/или электрод (электроды) могут быть заряжены полярностями дискретно. В некоторых вариантах реализации изобретения аналоговый диапазон напряжений может быть приложен к оптическому волокну и/или
15 электроду (электродам), в результате чего генерируются различные интенсивности электростатических сил притяжения и отталкивания. Использование аналоговых напряжений может обеспечить способ сканирования с высокой разрешающей способностью благодаря аналоговому диапазону частичного притяжения и/или отталкивания между оптическим волокном и/или электродом (электродами).

20 [0089] Оптическое волокно 222 показано, как содержащее электропроводящий слой 224. В тех случаях, когда напряжение, как описано в настоящем документе, прикладывается к оптическому волокну, или оптическое волокно, как описано в настоящем документе, приобретает заряд, следует понимать, что напряжение прикладывается к электропроводящему слою и электропроводящий слой приобретает
25 заряд. В некоторых вариантах реализации изобретения оптическое волокно не содержит электропроводящий слой. В других вариантах реализации изобретения оптическое волокно 222 содержит электропроводящий слой 224 и изолирующий слой 226 (как показано на **Фиг. 10**). Электропроводящий слой 224 может быть расположен и/или размещен между оптическим волокном 222 и изолирующим слоем 226.

30 [0090] Изолирующий слой 226 может представлять собой диэлектрический материал или может содержать диэлектрический материал. Диэлектрические материалы являются изоляторами по своей природе и электрические заряды не проходят через них. Таким образом, они могут служить такой же цели, как исключительно изолирующее покрытие (например, как те, которые описаны в настоящем документе со ссылкой на **Фиг. 7, 8, и**
35 **9**). Диэлектрические материалы также могут иметь один или более преимущественных признаков. Например, диэлектрические материалы могут быть поляризованы посредством приложенного электрического поля. Иными словами, электрические заряды могут смещаться от их равновесных положений и могут быть выровнены в зависимости от приложенного электрического поля. Например, в варианте реализации
40 изобретения, проиллюстрированном на **Фиг. 10**, электропроводящий слой 224 может получать положительный заряд. Когда изолирующий слой 226 является исключительно изоляционным покрытием, сила электрического поля, связанная с заряженным электропроводящим слоем 224, уменьшается в связи с толщиной изолирующего слоя 226. Когда изолирующий слой 226 представляет собой или содержит диэлектрический
45 материал, часть (внутренняя часть, или обращенная к оптическому волокну часть) изолирующего слоя 226, находящаяся ближе к положительно заряженному электропроводящему слою 224, является поляризованной и приобретает по меньшей мере частичный отрицательный заряд. Часть (наружная часть, или обращенная к канюле

часть) изолирующего слоя, находящаяся далее от положительно заряженного электропроводящего слоя 224, является также поляризованной и приобретает по меньшей мере частичный положительный заряд. Наружная поверхность изолирующего слоя 226 может иметь одинаковую полярность заряда с электропроводящим слоем 224.

5 Таким образом, электрическое поле, связанное с электропроводящим слоем 224, сохраняется посредством изолирующего слоя 226 и представлено с наружной стороны (*например*, в направлении одного или более электродов). Такое расположение может облегчить колебание оптического волокна посредством электростатических сил.

[0091] Аналогичным образом, один или более изолирующих слоев, связанных с электродами, согласно **Фиг. 7, 8, и 9** могут представлять собой или могут содержать диэлектрический материал. Например, внутренние, или обращенные к оптическому волокну изолирующие слои, могут представлять собой или могут содержать диэлектрический материал. Внутренняя поверхность изолирующих слоев может иметь одинаковую с электродами полярность заряда. Таким образом, электрическое поле, связанное с электродами, сохраняется посредством изолирующих слоев и представлено с внутренней стороны (*например*, в направлении оптического волокна). Такое расположение может облегчить колебание оптического волокна посредством электростатических сил.

[0092] Далее со ссылкой на **Фиг. 7, 8, и 9**, наружная сторона поверхностей (*например*, в направлении канюли 150) электродов показана, как содержащая изолирующий слой. Например, электрод 232 может содержать изолирующий слой 234 (**Фиг. 7**), электрод 242 может содержать изолирующий слой 244 (**Фиг. 7**), электрод 262 может содержать изолирующий слой 264 (**Фиг. 8**), электрод 272 может содержать изолирующий слой 274 (**Фиг. 8**), электрод 282 может содержать изолирующий слой 284 (**Фиг. 8**), электрод 302 может содержать изолирующий слой 304 (**Фиг. 9**), электрод 312 может содержать изолирующий слой 314 (**Фиг. 9**), электрод 322 может содержать изолирующий слой 324 (**Фиг. 9**) и/или электрод 332 может содержать изолирующий слой 334 (**Фиг. 9**).

Изолирующие слои на наружной стороне поверхностей электродов могут предотвратить нежелательный контакт между электродами и канюлей 150. Контакт может вызвать прикладывание напряжения к канюле 150. Прикладывание напряжения к канюле 150 может быть нежелательным в тех случаях, когда оптический зонд по меньшей мере частично располагается в глазном яблоке пациента. Изолирующий слой может представлять собой изоляционное покрытие или может содержать изоляционное покрытие. Изолирующий слой может быть прикреплен к оптическому волокну 138 с использованием химических процессов; подходящего адгезива (*например*, клея, эпоксидной смолы и т.д.); механического соединения и/или их комбинации. Изолирующий слой может представлять собой керамику, полиэтилен, поливинилхлорид, полиимид, полимеры, парилен, диоксид кремния, диоксид титана и/или другой подходящий изоляционный или диэлектрический материал.

[0093] **Фиг. 7, 8, и 9** иллюстрируют, что внутренняя сторона поверхностей (*например*, в направлении оптического волокна 138) электродов и/или наружная поверхность оптического волокна может содержать изолирующий слой. Например, электрод 232 может содержать изолирующий слой 236 (**Фиг. 7**), электрод 242 может содержать изолирующий слой 246 (**Фиг. 7**), электрод 262 может содержать изолирующий слой 266 (**Фиг. 8**), электрод 272 может содержать изолирующий слой 276 (**Фиг. 8**), электрод 282 может содержать изолирующий слой 286 (**Фиг. 8**), электрод 302 может содержать изолирующий слой 306 (**Фиг. 9**), электрод 312 может содержать изолирующий слой 316 (**Фиг. 9**), электрод 322 может содержать изолирующий слой 326 (**Фиг. 9**), и/или электрод

332 может содержать изолирующий слой 336 (Фиг. 9). По меньшей мере часть (например, вся протяженность оптического волокна 138 внутри зонда 190, дистальная часть 218 оптического волокна 138, часть оптического волокна 138, которая содержит электропроводящий слой) оптического волокна 222 может содержать изолирующий слой. Например, оптическое волокно 222 может содержать изолирующий слой 226. Изолирующие слои на внутренней стороне поверхностей электродов и/или наружной поверхности оптического волокна могут быть сконфигурированы для предотвращения электрической связи между электродами и электропроводящим слоем оптического волокна. Изолирующие слои могут предотвратить нежелательный электрический разряд в тех случаях, когда оптическое волокно соприкасается с одним или более электродами. Электрический разряд может привести к подавлению электростатических сил, которые существовали между оптическим волокном и одним или более электродами. Электрический разряд может также вызвать искрообразование. Контакт между оптическим волокном и одним или более электродами может произойти во время приведения в действие оптического волокна, т.к. оптическое волокно электростатически притягивается к одному или более электродам. Например, если наружная поверхность оптического волокна содержит электропроводящий слой, который контактирует с электропроводящим электродом, может возникнуть электрический разряд. Такой электрический разряд может быть нежелательным, когда оптический зонд по меньшей мере частично располагается в глазном яблоке пациента. Изолирующий слой может представлять собой или может содержать изоляционное покрытие. Изолирующий слой может быть прикреплен к оптическому волокну 138 с использованием химических процессов; подходящего адгезива (например, клея, эпоксидной смолы и т.д.); механического соединения и/или их комбинации. Изолирующий слой может представлять собой керамику, полиэтилен, поливинилхлорид, полиимид, полимеры, парилен, диоксид кремния, диоксид титана, и/или другой подходящий изоляционный или диэлектрический материал.

[0094] Подразумевается что, в тех случаях, когда электрод и/или оптическое волокно описываются как содержащие изолирующий слой, что изолирующий слой может представлять собой компонент, который отличается от самого оптического волокна, например, покрытие, оболочка и т.д., который применяется и/или иным образом соединен с оптическим волокном. В некоторых вариантах реализации изобретения один или более изолирующих слоев электродов и/или оптического волокна могут содержать диэлектрический материал, как это описано более подробно согласно Фиг. 10. В некоторых вариантах реализации изобретения наружная сторона и внутренняя сторона изолирующих слоев электродов и/или оптического волокна могут представлять собой одни и те же материалы или могут содержать их. В других вариантах реализации изобретения наружная сторона и внутренняя сторона изолирующих слоев могут представлять собой разные материалы или могут содержать их. Например, внутренние изолирующие слои могут представлять собой диэлектрический материал или могут содержать диэлектрический материал, в то время как наружные изолирующие слои не являются диэлектрическим материалом, или не содержат диэлектрический материал.

[0095] Варианты реализации изобретения, которые описаны в настоящем документе, могут представлять видеозонд, имеющий исполнительный привод, который использует по меньшей мере один заряженный электрод для передачи движения оптическому волокну, расположенному внутри видеозонда посредством электростатической силы. Примеры, приведенные выше, являются только иллюстративными и не предназначены для ограничения изобретения. Специалист в данной области может легко разработать

другие системы в соответствии с описанными вариантами реализации изобретения, которые предназначены для включения в объем настоящего изобретения. Таким образом, применение ограничено только нижеследующей формулой изобретения.

(57) Формула изобретения

5

1. Офтальмологический видеозонд, содержащий:

рукоятку;

канюлю, присоединенную к рукоятке;

оптическое волокно, расположенное по меньшей мере, частично, внутри рукоятки

10

и канюли, при этом оптическое волокно выполнено с возможностью приема светового пучка, формирующего изображение, от источника светового пучка, формирующего изображение, и направления светового пучка, формирующего изображение оптическому элементу, расположенному внутри дистальной части канюли; и

15

систему исполнительного привода, выполненную с возможностью передавать движение оптическому волокну, при этом система исполнительного привода содержит множество электродов, расположенных внутри канюли, при этом каждый электрод выполнен с возможностью передачи движения оптическому волокну посредством избирательной передачи электрического заряда по меньшей мере одному из: электроду и электропроводящему слою оптического волокна, при этом каждый электрод проходит в продольном направлении вдоль канюли, повторяет форму канюли, а также проходит в изогнутом виде вокруг части внутреннего периметра канюли.

2. Зонд по п. 1, в котором

каждый электрод проходит по меньшей мере вдоль одной трети (1/3) канюли в продольном направлении.

25

3. Зонд по п. 1, в котором

первый электрод и второй электрод расположены симметрично вокруг оптического волокна.

4. Зонд по п. 1, в котором

30

система исполнительного привода выполнена с возможностью передавать движение к оптическому волокну для того, чтобы сканировать световым пучком, формирующим изображение, в пределах двухмерной модели сканирования.

5. Зонд по п. 4, в котором

35

двухмерная модель сканирования включает по меньшей мере одно из: спираль, растр, звезда постоянного радиуса, звезда множественных радиусов и многократно наложенная траектория.

6. Зонд по п. 1, в котором оптическое волокно содержит электропроводящий слой.

7. Зонд по п. 6, в котором

оптическое волокно содержит изолирующий слой.

8. Зонд по п. 7, в котором

40

электропроводящий слой располагается между оптическим волокном и изолирующим слоем.

9. Зонд по п. 7, в котором

изолирующий слой содержит диэлектрический материал.

10. Зонд по п. 1, в котором

45

внутренняя сторона поверхности по меньшей мере одного электрода содержит изолирующий слой.

11. Зонд по п. 1, в котором

наружная сторона поверхности по меньшей мере одного электрода содержит

изолирующий слой.

12. Зонд по п. 1, в котором проксимальный участок оптического волокна неподвижно прикреплен к проксимальной части рукоятки.

5 13. Зонд по п. 1, в котором по меньшей мере один электрод неподвижно прикреплен к канюле.

14. Зонд по п. 1, в котором оптический элемент содержит градиентную линзу (ГРИН).

10 15. Зонд по п. 1, в котором оптический элемент механически присоединен к дистальному концу оптического волокна так, что оптический элемент перемещается с дистальным концом оптического волокна.

15 16. Зонд по п. 1, в котором система исполнительного привода выполнена с возможностью передавать движение оптическому волокну для того, чтобы сканировать световым пучком, формирующим изображение, в пределах модели сканирования с линейной протяженностью целевой биологической ткани от 1 до 5 мм на расстоянии от 5 до 10 мм от дистального конца канюли.

17. Система офтальмологической визуализации, содержащая:
20 источник светового пучка, формирующего изображение, выполненный с возможностью формирования светового пучка, формирующего изображение; световод в оптической связи с источником светового пучка, формирующего изображение, при этом световод выполнен с возможностью приема генерируемого светового пучка, формирующего изображение от источника светового пучка,
25 формирующего изображение; и зонд в оптической связи со световодом, при этом зонд содержит рукоятку; канюлю, присоединенную к рукоятке; оптическое волокно, расположенное по меньшей мере, частично, внутри рукоятки
30 и канюли, при этом оптическое волокно содержит электропроводящий слой, причем оптическое волокно выполнено с возможностью принимать указанный световой пучок, формирующий изображение, из световода и направлять световой пучок, формирующий изображение, оптическому элементу, расположенному внутри дистальной части канюли;
и

35 систему исполнительного привода, выполненную с возможностью передавать движение оптическому волокну, при этом система исполнительного привода содержит множество электродов, расположенных внутри канюли, при этом каждый электрод выполнен с возможностью передавать движение оптическому волокну посредством избирательной передачи электрического заряда по меньшей мере одному из: электроду
40 и электропроводящему слою оптического волокна, при этом каждый электрод проходит в продольном направлении вдоль канюли, повторяет форму канюли, а также проходит в изогнутом виде вокруг части внутреннего периметра канюли.

18. Система офтальмологической визуализации по п. 17, дополнительно содержащая:
45 контроллер, соединенный с источником света, при этом контроллер выполнен с возможностью управлением приведения в действие источника светового пучка, формирующего изображение, для процедуры визуализации оптической когерентной томографии (ОКТ).

19. Система офтальмологической визуализации по п. 18, в которой

контроллер дополнительно сконфигурирован с возможностью обработки данных, полученных посредством зонда, и вывода данных изображения на дисплей, соединенный с контроллером.

5 20. Система офтальмологической визуализации по п. 18, в которой
контроллер дополнительно сконфигурирован для осуществления избирательного прикладывания напряжения по меньшей мере к одному из: электропроводящему слою оптического волокна и каждому электроду таким образом, что по меньшей мере один из: электропроводящий слой оптического волокна и каждый электрод получает электрический заряд.

10

15

20

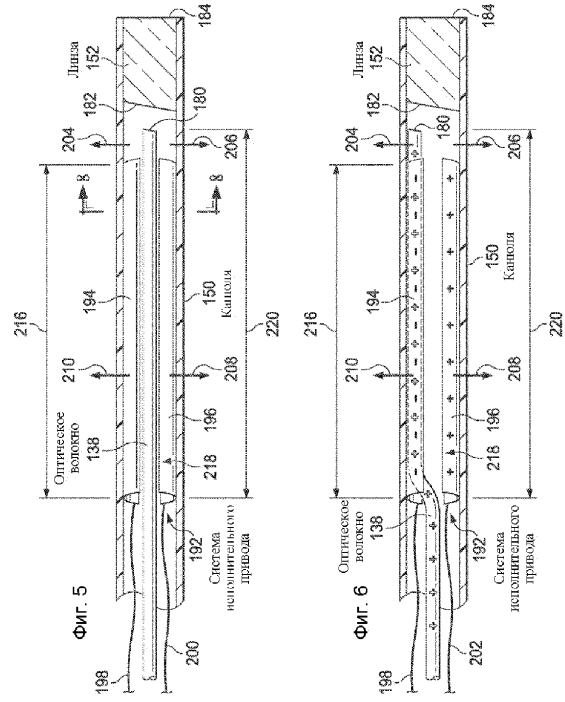
25

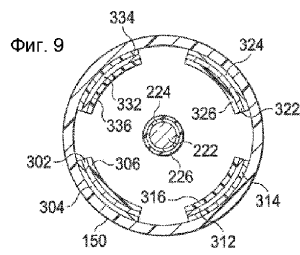
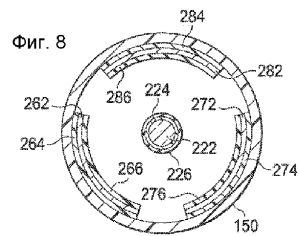
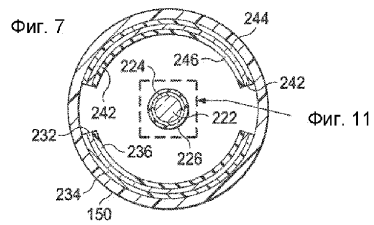
30

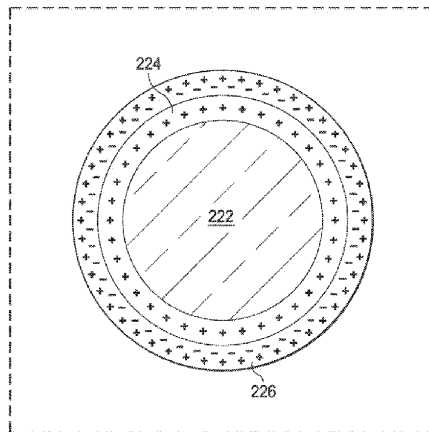
35

40

45







Фиг. 10