

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 750**

51 Int. Cl.:

A61B 3/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2015 PCT/US2015/027115**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2015 WO15171317**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2015 E 15788790 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2018 EP 3091892**

54 Título: **Sondas de formación de imágenes que utilizan activadores electrostáticos**

30 Prioridad:

09.05.2014 US 201414274074

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

19.03.2019

73 Titular/es:

**NOVARTIS AG (100.0%)
Lichtstrasse 35
4056 Basel, CH**

72 Inventor/es:

WHEATLEY, BARRY

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 704 750 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sondas de formación de imágenes que utilizan activadores electroestáticos

CAMPO TÉCNICO

5 Las realizaciones descritas en este documento están relacionadas con dispositivos, sistemas, y métodos para escanear tejido con una sonda de tomografía de coherencia óptica (OCT), y más particularmente, con dispositivos, sistemas, y métodos que utilizan una sonda de OCT que tiene una fibra desplazable para la formación de imágenes oftálmicas.

ANTECEDENTES

10 Los sistemas de Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) se han utilizado para capturar y generar imágenes de las capas de tejido del paciente. Estos sistemas incluyen a menudo sondas de OCT que pueden penetrar de forma invasiva en el tejido para obtener una visualización de tejido dentro de un paciente. En oftalmología, las sondas de OCT son utilizadas para obtener imágenes detalladas de tejido alrededor del ojo o incluso que forma una parte del ojo, tal como la retina.

15 En uso, un haz de luz óptica es dirigido a través de la sonda hacia el tejido. Una pequeña parte de esta luz se refleja a partir de las características de sub-superficie del tejido y es recogida a través de la misma sonda. La mayor parte de la luz no es reflejada, sino que, en su lugar, se dispersa de forma difusa en grandes ángulos. En la formación de imágenes convencional, esta luz dispersada de forma difusa contribuye al ruido de fondo que oculta una imagen. Sin embargo, en OCT, una técnica llamada interferometría registra las longitudes de la trayectoria óptica de los fotones recibidos, y proporciona datos que rechazan la mayoría de los fotones que se dispersan múltiples veces antes de la detección. Esto da como resultado imágenes que son más claras y que se extienden en la profundidad del tejido.

20 Las sondas de OCT incluyen a menudo una cánula sobresaliente que puede penetrar de forma invasiva en el tejido del paciente. La sonda escanea tejido refractando el haz de luz óptica a través de una lente dispuesta en un extremo de la cánula. Un escaneo puede incluir mover una fibra óptica hacia atrás y hacia delante dentro de la cánula para dirigir el haz de luz a través de la lente y hacia el tejido en diferentes ángulos. La longitud y el pequeño diámetro de la cánula hacen difícil mover la fibra hacia atrás y hacia delante dentro de la cánula. Además, la pequeña cantidad de espacio disponible dentro de la sonda limita los tipos de activadores que pueden ser utilizados. Además, aún, las sondas de OCT y los sistemas asociados deben ser capaces de ser fabricadas de una manera rentable, lo que incluye la capacidad de hacer la sonda como un dispositivo desechable, de un solo uso en algunas implementaciones.

30 Se ha hecho referencia a los documentos US2008/058629, US2009/103882 y US2001/055462 como representativos del estado de la técnica. Ellos describen sondas de escaneo endoscópico que comprenden un activador piezoeléctrico que desvía una fibra óptica en voladizo para escanear una superficie del cuerpo.

RESUMEN

35 Se apreciará que el alcance de la invención está de acuerdo con las reivindicaciones. Por consiguiente, se ha proporcionado una sonda de formación de imágenes oftálmicas y un sistema de formación de imágenes oftálmicas de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes proporcionan otras características opcionales.

Las realizaciones descritas en la presente memoria están relacionadas con dispositivos, sistemas, y métodos que utilizan al menos un electrodo cargado para impartir movimiento a una fibra óptica posicionada dentro de una sonda de formación de imágenes mediante una fuerza electroestática.

40 De acuerdo con algunas realizaciones, se ha proporcionado una sonda de formación de imágenes oftálmica. La sonda puede incluir un mango; una cánula acoplada al mango, una fibra óptica posicionada al menos parcialmente dentro del mango y la cánula, la fibra óptica configurada para recibir una luz de formación de imágenes procedente de una fuente de luz de formación de imágenes y guiar la luz de formación de imágenes hacia un elemento óptico posicionado dentro de la parte distal de la cánula; y un sistema activador configurado para impartir movimiento a la fibra óptica, incluyendo el sistema activador un electrodo posicionado dentro de la cánula y configurado para impartir movimiento a la fibra óptica impartiendo selectivamente una carga eléctrica al menos a uno del electrodo y la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica.

50 El electrodo puede extenderse a lo largo de al menos un tercio (1/3) de una extensión longitudinal de la cánula. El sistema activador puede incluir además un segundo electrodo posicionado dentro de la cánula. El sistema activador puede incluir además un tercer electrodo o una multiplicidad de electrodos posicionados dentro de la cánula. El electrodo y el segundo electrodo pueden estar dispuestos simétricamente alrededor de la fibra óptica. La fibra óptica puede incluir una capa eléctricamente conductora y/o una capa aislante. La capa eléctricamente conductora puede estar dispuesta entre la fibra óptica y la capa aislante. La capa aislante puede incluir un material dieléctrico. Una superficie orientada hacia el interior del electrodo puede incluir una capa aislante. Una superficie orientada hacia el exterior del electrodo puede incluir una capa aislante. El sistema activador puede estar configurado para impartir movimiento a la fibra óptica

para escanear la luz de formación de imágenes sobre un patrón de escaneo unidimensional o bidimensional. Un sistema activador que incluye al menos un electrodo puede implementar un patrón de escaneo unidimensional. Un sistema activador que incluye dos, tres, cuatro, o más electrodos puede implementar un patrón de escaneo bidimensional. El patrón de escaneo unidimensional puede incluir al menos una de una línea y un arco. El patrón de escaneo bidimensional puede incluir al menos uno de una espiral, un ráster, un patrón de asterisco de radio constante, un patrón de asterisco de radio múltiple, y una trayectoria plegada multiplicada. El elemento óptico puede incluir una lente de índice de gradiente (GRIN). El elemento óptico puede estar acoplado mecánicamente a un extremo distal de la fibra óptica de modo que el elemento óptico se mueva con el extremo distal de la fibra óptica. El sistema de activación puede estar configurado para impartir movimiento a la fibra óptica para escanear la luz de formación de imágenes a lo largo de un patrón de escaneo con una extensión lineal en un tejido biológico objetivo de entre 1 mm y 5 mm a una distancia de entre 5 mm y 10 mm desde un extremo distal del mango.

De acuerdo con algunas realizaciones, se ha proporcionado un sistema de formación de imágenes oftálmicas. El sistema puede incluir una fuente de luz de formación de imágenes configurada para generar una luz de formación de imágenes; una guía óptica en comunicación óptica con la fuente de luz de formación de imágenes, la guía óptica configurada para recibir la luz de formación de imágenes generada procedente de la fuente de luz de formación de imágenes; y una sonda en comunicación óptica con la guía óptica, incluyendo la sonda un mango; una cánula acoplada al mango; una fibra óptica posicionada al menos parcialmente dentro del mango y la cánula, incluyendo la fibra óptica una capa eléctricamente conductora, en la que la fibra óptica está configurada para recibir la luz de formación de imágenes procedente de la guía óptica y guiar la luz de formación de imágenes a un elemento óptico posicionado dentro de la parte distal de la cánula; y un sistema activador configurado para impartir movimiento a la fibra óptica, incluyendo el sistema activador un electrodo posicionado dentro de la cánula y configurado para impartir movimiento a la fibra óptica impartiendo selectivamente una carga eléctrica al menos a uno del electrodo y la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica.

El sistema incluye además un controlador en comunicación con la fuente de luz, el controlador configurado para controlar la activación de la fuente de luz de formación de imágenes para un procedimiento de formación de imágenes de tomografía de coherencia óptica (OCT). El controlador puede estar configurado además para procesar datos obtenidos por la sonda y emitir datos de formación de imágenes a un monitor en comunicación con el controlador. El controlador puede estar configurado además para provocar de forma selectiva que se aplique una tensión al menos a uno de la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica y el electrodo de tal manera que al menos uno de la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica y el electrodo adquiera una carga eléctrica. La fibra óptica puede incluir una capa aislante de tal manera que la capa eléctricamente conductora está dispuesta entre la capa aislante y la fibra óptica. La capa aislante puede incluir un material dieléctrico.

De acuerdo con algunas realizaciones, se ha proporcionado un método de formación de imágenes oftálmicas. El método puede incluir aplicar una primera tensión a un electrodo posicionado dentro de un alojamiento de una sonda oftálmica de tal manera que el electrodo adquiera una carga eléctrica que tiene una primera polaridad; y aplicar una segunda tensión a una capa eléctricamente conductora de una fibra óptica posicionada dentro del alojamiento de la sonda oftálmica de tal manera que la capa eléctricamente conductora adquiera una carga eléctrica que tiene una segunda polaridad, incluyendo además la fibra óptica una capa aislante configurada para impedir la comunicación eléctrica entre el electrodo y la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica; en la que una fuerza electrostática que resulta del electrodo que adquiere la carga eléctrica que tiene la segunda polaridad provoca que la fibra óptica escanee una luz de formación de imágenes que pasa a través de la fibra óptica sobre un elemento óptico posicionado dentro de una parte distal del alojamiento.

Aspectos, características, y ventajas adicionales de la presente descripción resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada.

45 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La fig. 1 es una vista esquemática diagramática de un ojo en tratamiento y un sistema de formación de imágenes de OCT ejemplar de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La fig. 2 es una ilustración estilizada de una vista en sección transversal de una sonda de formación de imágenes de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

50 La fig. 3 es una ilustración estilizada de una vista en sección transversal de una parte distal de la sonda de formación de imágenes de la fig. 2 que muestra una fibra óptica de la sonda de formación de imágenes en una primera posición de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La fig. 4 es una ilustración estilizada de una vista en sección transversal de la parte distal de la sonda de formación de imágenes de la fig. 2, similar a la de la fig. 3, pero que muestra la fibra óptica en una segunda posición de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

55 La fig. 5 es una ilustración estilizada de una vista lateral en sección transversal de la cánula de la sonda de formación de imágenes de la fig. 2 de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La fig. 6 es una ilustración estilizada de una vista lateral en sección transversal de la cánula de la sonda de formación de imágenes de la fig. 2 de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La fig. 7 es una ilustración estilizada de una vista posterior en sección transversal de una sonda de formación de imágenes a lo largo de una línea de sección 8-8 de la fig. 5 de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

5 La fig. 8 es una ilustración estilizada de una vista posterior en sección transversal de una sonda de formación de imágenes, similar a la de la fig. 7, pero que muestra múltiples electrodos de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

10 La fig. 9 es una ilustración estilizada de una vista posterior en sección transversal de una sonda de formación de imágenes, similar a la de la fig. 7, pero que muestra múltiples electrodos de acuerdo con otro aspecto de la presente descripción.

La fig. 10 es una ilustración estilizada de una vista posterior en sección transversal de la fibra óptica de la fig. 7 de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

En los dibujos, los elementos que tienen la misma designación tienen las mismas funciones o funciones similares.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

15 En la siguiente descripción se han expuesto detalles específicos que describen ciertas realizaciones. Será evidente, sin embargo, para un experto en la técnica que las realizaciones descritas pueden ser puestas en práctica sin alguno o todos estos detalles específicos. Las realizaciones específicas presentadas pretenden ser ilustrativas, pero no limitativas. Un experto en la técnica puede realizar otro material que, aunque no se ha descrito específicamente en este documento, está dentro del alcance y el espíritu de esta descripción. Cualesquiera alteraciones y modificaciones adicionales a los dispositivos, sistemas, y métodos descritos, y cualquier otra aplicación de los principios de la presente descripción se han contemplado e incluido en su totalidad dentro de la presente descripción como se le ocurriría normalmente a un experto en la técnica a la que se refiere la descripción. En particular, se ha contemplado en su totalidad que las características, componentes, y/u operaciones descritos con respecto a una realización pueden ser combinados con las características, componentes, y/u operaciones descritos con respecto a otras realizaciones de la presente descripción. En aras de la brevedad, sin embargo, las numerosas iteraciones de estas combinaciones no serán descritas por separado.

20 La presente descripción se refiere en general a sondas de OCT, sistemas de OCT, y métodos que escanean tejido para obtener una imagen de OCT. La sonda puede incluir una cánula configurada para penetrar de forma invasiva tejido del paciente, tal como el globo de un ojo. La cánula puede alojar una lente y una fibra óptica. La fibra dirige la luz a través de la lente y captura la luz reflejada que pasa de nuevo a través de la lente. Para obtener un escaneo de un área o una línea de tejido, en lugar de simplemente un punto, la fibra puede ser movida dentro de la cánula en relación con la lente para provocar que la luz que emerge desde la lente escanee a través del patrón deseado. Debido a que la cánula que penetra el tejido del paciente es convenientemente pequeña en sección transversal, es difícil mover la fibra dentro de la cánula. La pequeña cantidad de espacio disponible dentro de la sonda limita los tipos de activadores que pueden ser utilizados para impartir movimiento a la fibra. En algunos casos es deseable fabricar la sonda, o al menos una parte de la misma, como un componente desechable, lo que requiere diseños de producto que tienen técnicas de fabricación rentables.

30 Los aspectos ejemplares descritos en este documento utilizan una técnica para mover toda o alguna parte de la fibra dentro de la sonda utilizando un sistema activador posicionado dentro de la sonda que supera uno o más de los problemas o limitaciones de los enfoques anteriores. En algunos aspectos descritos en este documento, el sistema activador puede incluir un electrodo cargado. La activación de la fibra óptica puede ser conseguida creando una fuerza electrostática o de Coulomb entre la fibra óptica y el electrodo cargado. La fibra óptica puede ser atraída (por ejemplo, extraída hacia) o rechazada (por ejemplo, empujada lejos) del electrodo dependiendo de las cargas respectivas de uno o ambos de la fibra óptica y el electrodo. En algunos aspectos, el sistema activador puede estar configurado para impartir movimiento amplificado a una sección distal de la fibra óptica. Por ejemplo, la fibra óptica puede estar posicionada dentro de la sonda de modo que un extremo distal de la fibra óptica se extienda más allá de un extremo distal de un electrodo de tal manera que el movimiento impartido a la sección distal de la fibra óptica es amplificado en relación con el movimiento de una parte de la fibra óptica próxima a y/o longitudinalmente coextensiva con el electrodo.

45 Al menos una parte de la fibra óptica (por ejemplo, una parte distal) incluye un revestimiento eléctricamente conductor. Una tensión puede ser aplicada al revestimiento eléctricamente conductor de la fibra óptica de tal manera que el conducto eléctricamente conductor es cargado o bien positiva o bien negativamente. La fibra óptica puede incluir una capa aislante. La capa aislante puede incluir un material dieléctrico.

50 En algunos aspectos, el electrodo cargado puede estar posicionado en el interior de la cánula de la sonda óptica. En algunos aspectos, se pueden proporcionar múltiples electrodos distintos. Los múltiples electrodos pueden estar posicionados anularmente alrededor de la fibra óptica en el interior de la cánula. Por ejemplo, el sistema activador puede tener un primer y segundo electrodos que se extienden longitudinalmente a lo largo de la cánula y están separados 180° entre sí. En algunos aspectos, el primer electrodo y el revestimiento eléctricamente conductor de la fibra óptica pueden ser cargados con polaridades opuestas para crear una fuerza electrostática atractiva. La fibra óptica puede ser extraída

hacia el primer electrodo por la fuerza electroestática atractiva. En algunos ejemplos, adicionalmente, el segundo electrodo puede ser cargado con la misma polaridad que el revestimiento eléctricamente conductor de la fibra óptica para crear una fuerza electroestática repulsiva. La fibra óptica puede ser empujada lejos del segundo electrodo (y hacia el primer electrodo) por la fuerza electroestática repulsiva. La fibra óptica y los dos electrodos pueden estar conectados eléctricamente a un controlador que proporciona tensión y carga eléctrica a los tres circuitos (por ejemplo, la fibra óptica y los dos electrodos).

En algunos aspectos, los electrodos pueden ser aislados eléctricamente de la cánula y/o la fibra óptica por una capa o revestimiento aislante y/o dieléctrico entre los electrodos y la cánula y/o la fibra óptica. En algunos aspectos, los electrodos pueden ser aislados eléctricamente por una capa aislante. La capa aislante puede incluir un material dieléctrico.

En algunos aspectos, para hacer oscilar la fibra óptica, el controlador puede proporcionar una tensión positiva a la fibra y cargarla con una carga positiva durante la mitad de un ciclo de frecuencia. A un electrodo en la cánula se le puede aplicar una tensión negativa que lo carga con una carga negativa. El otro electrodo puede tener una tensión positiva aplicada que lo carga con una carga positiva. La fibra óptica cargada de forma opuesta y uno de los electrodos se atraen entre sí debido a los campos eléctricos de polaridad opuesta. La fibra óptica y el electrodo que carga la misma se rechazan entre sí debido a los campos eléctricos con la misma polaridad. La segunda mitad del ciclo puede ser una repetición de la primera mitad con la polaridad de la fibra óptica cambiada o las polaridades de los electrodos cambiadas. En algunas realizaciones, la polaridad de la fibra puede permanecer igual a lo largo de un ciclo entero mientras que la polaridad de los electrodos es alterada durante cada medio ciclo.

En algunos aspectos, se han proporcionado sistemas activadores físicamente compactos y económicos para la sonda de OCT. En algunos aspectos, los sistemas activadores proporcionan la capacidad de mover una punta distal de la fibra óptica en dos dimensiones durante un proceso de escaneo.

La fig. 1 es una vista esquemática diagramática de una disposición que ilustra aspectos de la presente descripción. En particular, se ha mostrado un ojo 100 en tratamiento. El ojo 100 incluye una esclerótica 102, una córnea 104, una cámara anterior 106, y una cámara posterior 108. Una bolsa capsular 110 de ha ilustrado en la cámara posterior 108. El ojo 100 incluye además una retina 112.

Un sistema 120 de formación de imágenes ejemplar también se ha ilustrado en la fig. 1. Como se ha tratado con mayor detalle a continuación, el sistema 120 de formación de imágenes está configurado para visualizar partes del ojo 100, tales como la retina 112. El sistema 120 de formación de imágenes puede incluir una fuente de luz 122, un sistema 124 de tomografía de coherencia óptica (OCT), un controlador 126, una interfaz de usuario 128, y una sonda 130. La fuente de luz 122 está configurada para proporcionar luz de formación de imágenes que será dirigida sobre el tejido biológico objetivo por la sonda 130. La fuente de luz 122 puede estar formada por diodos súper luminiscentes, o láseres de impulsos ultracortos, o láseres súper continuos que proporcionan luz de longitud de onda relativamente larga, tal como de entre 700 nm y 1400 nm, entre 700 nm y 900 nm, entre 900 nm y 1200 nm, entre 1000 nm y 1100 nm, entre 1250 y 1450 nm, o entre 1400 nm y 1600 nm. La luz de formación de imágenes reflejada desde el tejido biológico objetivo y capturada por la sonda 130 es utilizada para generar imágenes del tejido biológico objetivo.

El sistema 124 de OCT está configurado para dividir la luz de formación de imágenes recibida desde la fuente de luz 122 en el haz de formación de imágenes que es dirigido sobre el tejido biológico objetivo por la sonda 130 y un haz de referencia que puede ser dirigido sobre un espejo de referencia. El sistema 124 de OCT puede ser un sistema de dominio espectral o de dominio del tiempo. El sistema 124 de OCT está configurado además para recibir la luz de formación de imágenes reflejada desde el tejido biológico objetivo y capturada por la sonda 130. El patrón de interferencia entre la luz de formación de imágenes reflejada y el haz de referencia es utilizado para generar imágenes del tejido biológico objetivo. Por consiguiente, el sistema 124 de OCT puede incluir un detector configurado para detectar el patrón de interferencia. El detector puede incluir Detectores de Carga Acoplada (CCD), píxeles, o una agrupación de cualquier otro tipo de sensor o sensores que generan una señal eléctrica basada en la luz detectada. Además, el detector puede incluir una agrupación de sensores bidimensionales y una cámara detectora.

El controlador 126 puede incluir un procesador y una memoria, que pueden incluir uno o más programas ejecutables para controlar aspectos de la fuente de luz 122, la interfaz de usuario 128, y/o la sonda 130, y para ejecutar y realizar funciones y procesos para llevar a cabo un procedimiento de formación de imágenes de OCT. Por ejemplo, el controlador 126 está configurado para controlar un sistema de activación de la sonda 130 configurado para escanear el haz de formación de imágenes a través del tejido biológico objetivo en algunas implementaciones.

Uno o más de la fuente de luz 122, el sistema 124 de OCT, el controlador 126, y la interfaz de usuario 128 pueden ser implementados en alojamientos separados acoplados de forma comunicativa entre sí o dentro de una consola o alojamiento común. Por ejemplo, en algunas implementaciones la fuente de luz 122, el sistema 124 de OCT, y el controlador están posicionados dentro de una consola que está acoplada de forma comunicativa con la interfaz de usuario 128. La interfaz de usuario 128 puede ser transportada en o formar parte de la consola. Además, la interfaz de usuario 128, o al menos parte o partes de la misma, pueden estar separadas de la consola. La interfaz de usuario 128 puede incluir un monitor configurado para presentar imágenes a un usuario o a un paciente, y mostrar el tejido

escaneado por la sonda 130 durante un procedimiento de formación de imágenes de OCT. La interfaz de usuario 128 también puede incluir dispositivos o sistemas de entrada, que incluyen a modo de ejemplo no limitativo, un teclado, un ratón, un joystick, una pantalla táctil, diales, y botones, entre otros dispositivos de entrada.

5 La sonda 130 está en comunicación óptica con el sistema 124 de OCT. A este respecto, la sonda 130 está configurada para presentar luz procedente de la fuente de luz 122 que pasa a través del sistema 124 de OCT sobre el tejido biológico objetivo con el propósito de formar imágenes del tejido. Además, la sonda puede estar en comunicación eléctrica con el controlador 126. A este respecto, el controlador 126 puede controlar un sistema de activación de la sonda 130 a través de señales eléctricas enviadas a la sonda 130 con el fin de provocar que el sistema de activación escanee el haz de formación de imágenes a través del tejido biológico objetivo. Un cable 132 puede conectar la sonda 130 al sistema 124 de OCT y/o al controlador 126. A este respecto, el cable 132 puede incluir fibra o fibras ópticas, conductor o conductores eléctricos, aislante o aislantes, protección o protecciones, y/u otras características configurados para facilitar la comunicación óptica y/o eléctrica entre la sonda 130 y el sistema 124 de OCT y/o el controlador 126. Además, se ha comprendido que el cable 132 puede incluir múltiples cables, separados. Por ejemplo, en algunos casos un cable óptico conecta la sonda 130 al sistema 124 de OCT y un cable eléctrico separado conecta la sonda 130 al controlador 126.

15 El controlador 126 puede estar en comunicación eléctrica con uno o más electrodos (por ejemplo, los electrodos 194 y 196 de la fig. 3, los electrodos 232 y 242 de la fig. 8, los electrodos 262, 272, y 282 de la fig. 9, los electrodos 302, 312, 322, y 332 de la fig. 10, etc.) y/o una capa eléctricamente conductora de la fibra óptica 138. El controlador 126 puede aplicar una tensión a y/o provocar que se aplique una tensión positiva o negativa a (por ejemplo, a partir de una fuente de tensión del sistema 120 de formación de imágenes, tal como una batería, etc.) los unos o más electrodos y/o la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica 138. A este respecto, el sistema 120 de formación de imágenes puede incluir una o más fuentes de tensión (por ejemplo, una fuente de tensión para cada uno de los electrodos y/o la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica 138).

25 El sistema 120 de formación de imágenes puede incluir un conector que está configurado para facilitar el acoplamiento extraíble de la sonda 130 y/o del cable 132 con el sistema 124 de OCT y/o el controlador 126. El conector está configurado para facilitar el acoplamiento mecánico, óptico, y/o eléctrico de la sonda 130 y/o del cable 132 con el sistema 124 de OCT y/o el controlador 126. Por ejemplo, una fibra óptica 138 que se extiende a lo largo de la longitud de la sonda 130 está acoplada ópticamente al sistema 124 de OCT a través del acoplamiento del conector con el sistema 124 de OCT. La fibra óptica 138 puede ser una sola fibra o un haz de fibras. En algunas realizaciones, el conector está configurado para aplicarse de forma roscada con el sistema 124 de OCT y/o el controlador 126. Sin embargo, se ha comprendido que se puede utilizar cualquier tipo de característica o características o conectores de aplicación selectiva, incluyendo ajuste a presión sin limitación, cierre tipo luer, roscas y sus combinaciones, entre otros tipos de conexión. En algunos aspectos, el conector está ubicado próximo al sistema 124 de OCT y/o al controlador 126. La aplicación selectiva del conector en el sistema 124 de OCT y/o el controlador 126 permite que toda la sonda 130 sea un componente desechable configurado para utilizar en un solo procedimiento.

35 La sonda 130 es dimensionada y conformada para ser manejada por un cirujano y para sobresalir en el cuerpo del paciente. La sonda 130 incluye un alojamiento 140 que tiene una parte proximal 142 y una parte distal 144. La parte proximal 142 del alojamiento 140 puede ser dimensionada y conformada para ser agarrada manualmente por el usuario. Por ejemplo, la parte proximal 142 del alojamiento 140 puede definir un mango 146. El mango 146 puede ser dimensionado y conformado para ser agarrado por una sola mano del usuario. Además, el mango 146 puede incluir una superficie texturizada 148 (por ejemplo, rugosa, estriada, salientes/rebajes, estrechamientos, otras características de la superficie, y/o sus combinaciones) para mejorar el agarre del usuario en el mango 146. En uso, el usuario controla la posición de la parte distal 144 del alojamiento 140 maniobrando el mango 146 de tal manera que el haz de luz de formación de imágenes es dirigido hacia el tejido biológico objetivo.

45 La parte distal 144 de la sonda 130 puede ser dimensionada y conformada para su inserción en el ojo 100 que ha de ser tratado. En la realización ilustrada de la fig. 1, la parte distal 144 de la sonda 130 incluye una cánula 150. La cánula 150 puede ser dimensionada y conformada para su inserción a través de la esclerótica 102 del ojo 100 para facilitar la formación de imágenes de la retina 112. La cánula 150 puede estar formada integralmente con el mango 146 como parte del alojamiento 140. Alternativamente, la cánula 150 y el mango 146 pueden ser componentes separados asegurados de forma fija entre sí para formar el alojamiento 140. Un elemento óptico 152, tal como una lente, puede estar asegurado dentro del extremo distal de la cánula 150. El elemento óptico 152 está configurado para enfocar la luz de formación de imágenes sobre el tejido biológico objetivo, tal como la retina 112. El elemento óptico 152 puede ser, por ejemplo, una lente de índice de gradiente (GRIN), cualquier otra lente adecuada, cualquier componente o componentes ópticos adecuados, o una combinación de los mismos. Dependiendo de la realización, el índice de gradiente puede ser esférico, axial, o radial. El elemento óptico 152 también puede ser una lente esférica. Se pueden utilizar otras formas de lente.

55 Como se tratará con mayor detalle a continuación, la fibra óptica 138 es movida con respecto al elemento óptico 152 por un sistema activador dispuesto dentro de la sonda 130 para provocar el que haz de formación de imágenes – cuando es enfocado por el elemento óptico 152 – escanee a través de una parte del tejido biológico objetivo. Las figs. 2 y 5-10 descritas a continuación ilustran diferentes realizaciones ejemplares de sistemas activadores de acuerdo con la presente descripción. A este respecto, se ha comprendido que los sistemas activadores de la presente descripción pueden estar posicionados dentro del mango 146, dentro de la cánula 150, y/o sus combinaciones para mover la fibra óptica 138 a

través de un patrón de escaneo deseado.

La distancia del punto focal del haz de formación de imágenes desde el extremo distal de la sonda 130 puede estar determinada por el elemento óptico 152, una distancia de separación entre la punta distal de la fibra óptica 138 y una cara proximal del elemento óptico 152, una abertura numérica de la fibra óptica 138, y/o la longitud de onda de luz del haz de formación de imágenes. Por ejemplo, en algunos casos la potencia focal del elemento óptico 152 y/o la distancia de separación es seleccionada para tener una profundidad de enfoque que corresponde a la distancia del extremo distal de la sonda 130 desde el tejido biológico objetivo durante su utilización. En algunas implementaciones de la sonda 130 para la formación de imágenes de la retina, el punto focal del haz de formación de imágenes puede estar entre 1 mm y 20 mm, entre 5 mm y 10 mm, entre 7 mm y 8 mm, o aproximadamente 7,5 mm más allá del extremo distal de la sonda 130.

La exposición siguiente se refiere en general a las figs. 2 y 5. La fig. 2 es una ilustración estilizada de una vista lateral en sección transversal de una sonda 190 de formación de imágenes de acuerdo con un aspecto de la presente descripción. La fig. 5 es una ilustración estilizada de una vista lateral en sección transversal de la cánula de la sonda de formación de imágenes de la fig. 2 de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

Como se ha mostrado, la fibra óptica 138 se extiende a lo largo de la longitud de la sonda 190 a través del mango 146 y la cánula 150. La fibra óptica 138 puede estar en voladizo. Es decir, una parte proximal de la fibra óptica 138 puede estar fijada en una parte proximal de la sonda 190, y una parte distal 218 de la fibra óptica 138 se puede mover con respecto al mango 146 y/o la cánula 150. En la realización ilustrada, al menos una parte de un sistema activador 192 está posicionada dentro de la cánula 150. El sistema activador 192 está configurado para impartir movimiento a la fibra óptica 138 de tal manera que un extremo distal 180 de la fibra óptica 138 se mueva con respecto a la cánula 150 y al elemento óptico 152 que está asegurado de forma fija a la cánula. Más específicamente, el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 puede ser movido con respecto al elemento óptico 152 para escanear el haz de formación de imágenes a través de un patrón deseado con respecto al tejido biológico objetivo.

El elemento óptico 152 está configurado para enfocar el haz de formación de imágenes recibido desde la fibra óptica 138 sobre el tejido biológico objetivo. A este respecto, el elemento óptico 152 incluye una cara proximal 182 y una cara distal 184. El haz de formación de imágenes entra al elemento óptico 152 a través de la cara proximal 182 y sale del elemento óptico 152 a través de la cara distal 184. Como se ha mostrado, la cara proximal 182 del elemento óptico 152 puede extenderse en un ángulo oblicuo con respecto al eje longitudinal de la cánula 150. Teniendo la cara proximal 182 orientada en un ángulo oblicuo, se puede reducir la cantidad de reflexión que resulta del haz de formación de imágenes que entra al elemento óptico 152. En otras realizaciones, la cara proximal 182 se extiende perpendicular al eje longitudinal de la cánula 150.

El extremo distal 180 de la fibra óptica 138 puede estar separado de la cara proximal 182 del elemento óptico 152. A este respecto, la separación entre el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 y la cara proximal 182 del elemento óptico 152 puede ser seleccionada para conseguir un rendimiento óptico deseado (por ejemplo, distancia focal, tamaño del foco, etc.). La separación entre el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 y la cara proximal 182 del elemento óptico 152 también puede ser seleccionada para permitir un intervalo deseado de movimiento de la fibra óptica 138 dentro de la cánula 150 sin entrar en contacto físicamente con el elemento óptico 152. El elemento óptico 152 puede estar acoplado mecánicamente al extremo distal 180 de la fibra óptica 138 de modo que el elemento óptico 152 se mueva con el extremo distal 180 de la fibra óptica 138.

El sistema activador 192 está configurado para impartir movimiento a la fibra óptica 138 de tal manera que el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 pueda ser movido con respecto al elemento óptico 152 para escanear el haz de formación de imágenes a través de un patrón deseado con respecto al tejido biológico objetivo. El sistema activador 192 puede incluir al menos un electrodo (por ejemplo, uno, dos, tres, cuatro, o más electrodos). Más específicamente, el sistema activador 192 está configurado para generar una fuerza electrostática entre la fibra óptica 138 y el electrodo aplicando una tensión a y cargando el electrodo. Cargando de forma selectiva el electrodo, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar con respecto al elemento óptico 152 durante un proceso de escaneo.

En algunas realizaciones, toda o alguna parte de la fibra óptica 138 dentro de la sonda 190 (por ejemplo, el extremo distal 180) se mueve, por ejemplo, entre 10 μm y 500 μm , entre 50 μm y 500 μm , entre 100 μm y 400 μm , o entre 100 μm y 300 μm a través de la cara proximal 182 del elemento óptico 152. El escaneo óptico de proyección es proyectado al tejido biológico objetivo a una distancia entre, por ejemplo, 1 mm y 20 mm desde el extremo distal de la cánula 150 (por ejemplo, el punto focal del haz de formación de imágenes, como se ha descrito anteriormente). La extensión lineal del haz de formación de imágenes en el tejido biológico objetivo puede ser de entre 1 mm y 10 mm, entre 1 mm y 8 mm, o entre 1 mm y 5 mm. Por ejemplo, puede ser de entre aproximadamente 50x y aproximadamente 1000x la multiplicación de la distancia la fibra se mueve a través de la cara proximal 182 del elemento óptico 152 en comparación con la extensión lineal del haz de formación de imágenes en el tejido biológico objetivo.

Los uno o más electrodos del sistema activador 192 pueden estar hechos de o pueden incluir un material eléctricamente conductor tal como uno o más metales. El electrodo puede estar hecho de un material que no es eléctricamente conductor pero que está cubierto por una capa eléctricamente conductora. La capa eléctricamente conductora puede

estar acoplada al material que no es eléctricamente conductor utilizando procesos químicos tales como galvanoplastia, galvanización electrolítica, pulverización, inmersión en caliente, deposición química de vapor, deposición de vapor de iones, etc.; un adhesivo adecuado (por ejemplo, pegamento, epoxi, etc.); conexión mecánica; y/o sus combinaciones. La forma del electrodo puede ser plana, curvada, o alguna de sus combinaciones.

5 El exterior de al menos una parte de la fibra óptica 138 puede incluir una capa eléctricamente conductora (por ejemplo, la totalidad de la fibra óptica 138 en el interior de la sonda 190 o la parte distal 218 de la fibra óptica 138). Se ha comprendido, que cuando se describe una fibra óptica como incluyendo una capa eléctricamente conductora, la capa eléctricamente conductora puede ser un componente que es distinto de la propia fibra óptica, tal como un revestimiento, un manguito, etc., que es aplicado y/o acoplado de otra manera a la fibra óptica. La capa eléctricamente conductora
10 puede estar acoplada a la fibra óptica 138 utilizando procesos químicos tales como galvanoplastia, galvanización electrolítica, pulverización inmersión en caliente, deposición química de vapor, deposición de vapor de iones, etc.; un adhesivo adecuado (por ejemplo, pegamento, epoxi, etc.); conexión mecánica; y/o sus combinaciones. El revestimiento eléctricamente conductor puede incluir oro, aluminio, etc.

15 Uno o más electrodos del sistema activador 192 y/o la fibra óptica 138 están en comunicación eléctrica con un controlador (por ejemplo, el controlador 126 de la fig. 1) a través de uno o más conductores. El controlador puede estar configurado para aplicar una tensión a y/o provocar que se aplique una tensión al electrodo y/o al revestimiento eléctricamente conductor de la fibra óptica 138. La tensión puede tener una polaridad (por ejemplo, una tensión positiva o una tensión negativa). Cuando la tensión es aplicada, el electrodo y/o el revestimiento eléctricamente conductor de la fibra óptica 138 puede adquirir una carga con una polaridad (por ejemplo, una carga positiva o una carga negativa). Por
20 ejemplo, cuando una tensión positiva es aplicada a un electrodo, el electrodo adquiere una carga positiva. Por ejemplo, cuando una tensión negativa es aplicada a un electrodo, el electrodo adquiere carga negativa. La magnitud de la tensión aplicada al electrodo y/o la fibra óptica puede ser la mismo o diferente (por ejemplo, la tensión aplicada a uno puede ser mayor que o menor que la tensión aplicada al otro). Cuando una tensión es aplicada al electrodo y/o la fibra óptica 138, cada uno es cargado estáticamente y tiene un campo eléctrico asociado con él. El electrodo y/o la fibra óptica 138 no son parte de un conducto completo. A este respecto, el electrodo y/o la fibra óptica 138 pueden ser considerados como un condensador ya que cada uno mantiene una carga hasta que es descargado (por ejemplo, por contacto con un objeto metálico o metalizado que completa el circuito, a través de los circuitos en el controlador, etc.).

Una fuerza electroestática o de Coulomb puede surgir en los componentes cargados. Las fuerzas electroestáticas atractivas surgen entre los componentes con carga opuesta (por ejemplo, un electrodo cargado negativamente y una
30 fibra óptica cargada positivamente). Las fuerzas electroestáticas repulsivas surgen entre componentes cargados de forma similar (por ejemplo, un electrodo cargado positivamente y una fibra óptica cargada positivamente). Debido a que la distancia de carrera o la distancia que el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 recorre durante un ciclo de frecuencia (por ejemplo, el diámetro interior de la cánula menos el diámetro de la fibra) es relativamente pequeña, la Ley de Coulomb establece que los campos eléctricos asociados con los uno o más electrodos del sistema activador 192 y/o la fibra óptica 138 son relativamente fuertes, como lo son las fuerzas electroestáticas.

El movimiento del extremo distal 180 de la fibra óptica 138 puede ser provocando cargando de forma selectiva el electrodo y/o la fibra óptica 138 con diferentes polaridades de tal manera que las fuerzas electroestáticas atractiva y/o repulsiva son generadas entre uno o más de estos elementos de la sonda 190. Es decir, una tensión puede ser aplicada a y/o una carga es adquirida por uno o más del electrodo y/o la fibra óptica 138. Basada en las fuerzas electroestáticas
40 resultante, la fibra óptica 138 puede ser empujada (por fuerzas electroestáticas repulsivas), estirada (por fuera electroestática atractiva), o ambas, en las direcciones 210 o 208. Esto provoca el movimiento del extremo distal 180 de la fibra óptica 138 en direcciones indicadas por las flechas 204 o 206.

En algunas realizaciones, el sistema activador 192 incluye un electrodo. Por ejemplo, el electrodo puede estar posicionado por encima de la fibra óptica. La fibra óptica puede ser hecha oscilar durante un proceso de escaneo
45 cargando y descargando de forma selectiva el electrodo y/o la fibra óptica. Durante la primera mitad del ciclo de frecuencia, el electrodo y la fibra óptica pueden ser cargados de tal manera que se generen fuerzas electroestáticas atractivas y la fibra óptica se mueva hacia el electrodo. Durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia, el electrodo y/o la fibra óptica pueden ser descargados de tal manera que la fibra óptica se mueva en la dirección opuesta al electrodo debido a, por ejemplo, el peso de la fibra óptica, las fuerzas de restauración elástica desarrolladas en la fibra óptica
50 durante la primera mitad del ciclo de frecuencia, y/o uno o más elementos de restauración. La dirección de movimiento durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia puede ser opuesta a la dirección de movimiento durante la primera mitad. De esta manera, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar en relación con el elemento óptico 152 durante el proceso de escaneo.

En algunas realizaciones, el sistema activador 192 incluye un electrodo. Durante la primera mitad del ciclo de frecuencia, la fibra óptica 138 y el electrodo pueden ser cargados de tal manera que se genere una fuerza electroestática atractiva o repulsiva. La fuerza electroestática puede provocar el movimiento de la fibra óptica 138, y en particular, el movimiento del extremo distal 180 en relación con el elemento óptico 152. Durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia, la fibra óptica 138 y el electrodo pueden ser cargados de tal manera que se genere la fuerza electroestática opuesta (en comparación con la primera mitad del ciclo de frecuencia). La fuerza electroestática puede provocar el movimiento de la
60 fibra óptica 138, y en particular, el movimiento del extremo distal 180 en relación con el elemento óptico 152. La dirección

de movimiento durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia puede ser opuesta a la dirección de movimiento durante la primera mitad. De esta manera, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar en relación con el elemento óptico 152 durante el proceso de escaneo.

5 En algunas realizaciones, la fibra óptica 138 no es cargada durante un proceso de escaneo. En su lugar, al menos un electrodo del sistema activador 192 es cargado. Así, en algunas realizaciones, la fibra óptica 138 no incluye una capa eléctricamente conductora. La fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar durante un proceso de escaneo sin estar cargada. Por ejemplo, la fibra óptica 138 puede ser una fibra de vidrio. Es probable que el vidrio obtenga una carga positiva, como se ha indicado en la serie triboeléctrica. Por ejemplo, durante la primera mitad de un ciclo de frecuencia, se puede aplicar de forma selectiva una tensión negativa al electrodo de tal manera que el electrodo adquiera una carga negativa. Debido a la separación de carga inducida por carga en la fibra óptica 138, la fibra óptica 138 adquiere una carga positiva, lo que genera fuerzas electroestáticas atractivas entre la fibra óptica 138 y el electrodo. Por ejemplo, durante una segunda mitad del ciclo de frecuencia, se puede aplicar de forma selectiva una tensión positiva al electrodo para generar fuerzas electroestáticas repulsivas entre la fibra óptica 138 y al menos un electrodo. La dirección de movimiento durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia puede ser opuesta a la dirección de movimiento durante la primera mitad. De esta manera, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar en relación con el elemento óptico 152 durante un proceso de escaneo.

20 En algunas realizaciones, el sistema activador 192 incluye dos electrodos, aunque solo un electrodo es cargado en un momento dado durante el proceso de escaneo. La fibra óptica 138 y uno de los electrodos son cargados durante la primer y/o segunda mitades del ciclo de frecuencia. Durante la primera mitad del ciclo de frecuencia, la fibra óptica 138 y el electrodo pueden ser cargados de tal manera que se genere una fuerza electroestática atractiva o repulsiva. La fuerza electroestática puede provocar el movimiento de la fibra óptica 138, y en particular, el movimiento del extremo distal 180 en relación con el elemento óptico 152. Durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia, la fibra óptica 138 y el otro de los electrodos pueden ser cargados de tal manera que se genere una fuerza electroestática atractiva o repulsiva. La fuerza electroestática puede provocar el movimiento de la fibra óptica 138, y en particular, el movimiento del extremo distal 180 en relación con el elemento óptico 152. La dirección de movimiento durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia puede ser opuesta a la dirección de movimiento durante la primera mitad. De esta manera, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar en relación con el elemento óptico 152 durante un proceso de escaneo.

30 En algunas realizaciones, el sistema activador 192 incluye dos electrodos, y ambos electrodos son cargados en un momento dado durante el proceso de escaneo. La fibra óptica 138 y ambos electrodos son cargados durante la primera y/o segunda mitades del ciclo de frecuencia. Durante la primera mitad del ciclo de frecuencia, la fibra óptica 138 y un electrodo pueden adquirir una primera carga de polaridad mientras que el otro electrodo adquiere una segunda carga de polaridad. Así, las fuerzas electroestáticas atractivas son generadas entre la fibra óptica 138 y el electrodo cargado de forma opuesta; las fuerzas electroestáticas repulsivas son generadas entre la fibra óptica 138 y el electrodo cargado de manera similar. Las fuerzas electroestáticas provocan el movimiento de la fibra óptica 138. Durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia, la polaridad de los electrodos puede ser cambiada mientras que la polaridad de la fibra óptica 138 es mantenida igual y/o la polaridad de la fibra óptica 138 puede ser cambiada mientras que la polaridad de los electrodos es mantenida igual. Así, se generan las fuerzas electroestáticas que están en direcciones opuestas en comparación con la primera mitad del ciclo de frecuencia. Las fuerzas electroestáticas provocan el movimiento de la fibra óptica 138. La dirección de movimiento durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia puede ser opuesta a la dirección de movimiento durante la primera mitad. De esta manera, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar en relación con el elemento óptico 152 durante un proceso de escaneo.

45 En las realizaciones ilustradas de las figs. 2 y 5, se han proporcionado dos electrodos 194 y 196. Es decir, el sistema activador 192 puede incluir un primer electrodo y un segundo electrodo. La forma de los electrodos 194 y 196 puede seguir la forma de la cánula 150. Es decir, el electrodo 194 y/o 196 puede extenderse de una manera curvada alrededor de al menos una parte de un perímetro interior de la cánula 150. Los electrodos 194 y 196 pueden estar dispuestos simétricamente alrededor de la fibra óptica 138. Por ejemplo, los electrodos 194 y 196 pueden estar dispuestos separados 180°. El ángulo que separa electrodos adyacentes del sistema activador 192 puede estar entre 0° y 360°, 30° y 330°, 45° y 315°, 60° y 300°, 90° y 270°, 120° y 240°, 135° y 225°, 150° y 210°, y 175° y 195°. En algunas realizaciones, los electrodos adyacentes están separados por 90°, 120°, o 180°.

50 Los electrodos 194 y 196 pueden extenderse longitudinalmente a lo largo de la cánula 150. La cánula 150 puede tener una extensión longitudinal o longitud 214. Los electrodos 194 y/o 196 pueden tener una extensión longitudinal o longitud 216. Los electrodos 194 y 196 pueden extenderse a lo largo de al menos un cuarto (1/4), un tercio (1/3), una mitad (1/2), tres cuartos (3/4), o más de una longitud de la cánula. Es decir, la relación de la longitud 216 de los electrodos 194 y/o 196 con la longitud 214 de la cánula 150 puede ser al menos un cuarto (1/4), un tercio (1/3), una mitad (1/2), tres cuartos (3/4), o más. En otras realizaciones, la relación de la longitud 216 con la longitud 214 es mayor que o menor que estas cantidades. Cuando los electrodos 194 y 196 se extienden a lo largo de la cánula 150 una distancia más larga, hay más área entre los electrodos 194 y 196 y la fibra óptica 138 para producir fuerzas electroestáticas mayores y distribuidas más uniformemente. En algunas realizaciones, los electrodos 194 y 196 pueden extenderse la misma distancia longitudinalmente. En otras realizaciones, uno de los electrodos 194 y 196 pueden estar previstos total o parcialmente en el mango 146, la cánula 150, y/o una combinación de los mismos. Los electrodos 194 y 196 pueden estar asegurados de forma fija a la sonda 190 (por ejemplo, el mango 146, la cánula 150, etc.) utilizando un adhesivo adecuado (por ejemplo,

pegamento, epoxi, etc.; conexión mecánica; y/o sus combinaciones.

5 La fibra óptica 138 puede estar asegurada dentro del mango 146 de tal manera que el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 se extienda distalmente más allá de los extremos distales de los electrodos 194 y 196. De esta manera, el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 está en voladizo desde los electrodos 194 y 196. Como resultado, el perfil de movimiento del extremo distal 180 de la fibra óptica 138 es amplificado en relación con el perfil de movimiento de la parte de la fibra óptica 138 que está próxima a y/o longitudinalmente coextensiva con los electrodos 194 y 196. En otras palabras, el movimiento del extremo distal 180 de la fibra óptica 138 es mayor que el movimiento correspondiente de la parte próxima/coextensiva de la fibra óptica 138 que se mueve cuando la fibra óptica 138 y/o los electrodos 194 y 196 son cargados. Por ejemplo, cuando la parte próxima/coextensiva de la fibra óptica 138 es movida hacia el electrodo 194 (cuando es atraída hacia el electrodo 194 y/o rechazada por el electrodo 196) como se ha indicado por la flecha 210, el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 se moverá como se han indicado por la flecha 204 una distancia mayor en la misma dirección. De manera similar, la parte próxima/coextensiva de la fibra óptica 138 es movida hacia el electrodo 196 (cuando es atraída hacia el electrodo 196 y/o rechazada por el electrodo 194) como se ha indicado por la flecha 208, el extremo distal 180 de la fibra óptica se moverá como se ha indicado por la flecha 206 una distancia mayor en la misma dirección. La relación del movimiento del extremo distal 180 de la fibra óptica 138 con el movimiento de la parte próxima/coextensiva de la fibra óptica 138 puede estar entre 1,0:1,0 y 10,0:1,0, entre 1,1:1,0 y 5,0:1,0, o entre 1,5:1,0 y 2,0:1,0.

20 El electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 pueden estar en comunicación eléctrica con un controlador (por ejemplo, el controlador 126 de la fig. 1) a través de los conductores 198, 200, y 202 respectivamente. Durante un ciclo de frecuencia del sistema activador 192, que provoca de forma selectiva que los uno o más electrodos y/o la fibra óptica 138 adquieran una carga eléctrica puede generar fuerzas electroestáticas entre los uno o más electrodos y la fibra óptica 138.

25 El sistema activador 192 está configurado para mover la fibra óptica 138 (por ejemplo, la parte distal 218, el extremo distal 180, etc.) desde una posición neutral a una o más posiciones activadas. La parte distal 218 de la fibra óptica 138 puede definir un segmento de fibra óptica 138 que se extiende longitudinalmente desde un punto de la sonda 190 donde los electrodos 194 y/o 196 comienzan en el extremo distal 180 de la fibra óptica 138. En diferentes realizaciones, la longitud 216 de los electrodos 194 y/o 196 es mayor que, menos que, o igual a la longitud de la parte distal 218 de la fibra óptica 138. En algunas realizaciones, la longitud 220 de la parte distal 218 es mayor que la longitud 216 de los electrodos de tal manera que el extremo distal 180 está posicional más distalmente en la cánula 150 que un extremo distal de los electrodos 194 y/o 196.

30 La parte distal 218 que está siendo activada puede ser descrita como una longitud libre de fibra óptica 138. La longitud libre (por ejemplo, la longitud 220 de la parte distal 218) puede ser elegida de diferentes formas basándose en si hay suficiente longitud para ser activada, la resistencia mecánica de las fuerzas electroestáticas, el diámetro del elemento óptico 152, etc. Por ejemplo, la parte distal 218 es seleccionada para ser lo suficientemente larga de tal manera que las fuerzas electroestáticas puedan superar las fuerzas moleculares de la fibra óptica 138 que mantienen la integridad estructural y la disposición lineal/plana de la fibra óptica 138. Es decir, las fuerzas electroestáticas pueden actuar sobre una longitud suficiente de la fibra óptica 138 y/o provocar un momento de flexión suficiente para doblar la fibra óptica 138 en las direcciones 208 y/o 210. En algunas realizaciones, la longitud 220 de la parte distal 218, que está siendo activada, puede incluir entre 1 mm y 15 mm, entre 3 mm y 12 mm, y entre 5 mm y 10 mm, etc., desde el extremo distal 180 de la fibra óptica 138.

40 En una posición neutral, la fibra óptica 138 puede estar posicionada en cualquier ubicación dentro del lumen de la cánula 140. Por ejemplo, toda o alguna parte de la fibra óptica 138 dentro de la sonda 190 puede ser coaxial con el eje longitudinal de la cánula 150 (como se ha mostrado en, por ejemplo, la fig. 2), próxima a y/o en contacto con una pared de la cánula 150 (como se ha mostrado en, por ejemplo, las figs. 3 y 4), próxima a y/o en contacto con un electrodo, etc. En las una o más posiciones activadas, la fibra óptica 138 puede estar más cerca de un electrodo o más lejos de un electrodo como un resultado de una fuerza electroestática entre ellos. Por ejemplo, cuando existe una fuerza electroestática atractiva entre el electrodo 194 y la fibra óptica 138, la parte distal 218 de la fibra óptica 138 puede moverse en la dirección 210. El extremo distal 180 de la fibra óptica 138 puede moverse de forma correspondiente en la dirección 204. (En algunas realizaciones, el extremo distal 180 puede moverse en la dirección 206, como se ha descrito a continuación).

50 Se ha comprendido que el movimiento de la fibra óptica 138 incluye el desplazamiento de una parte de la parte distal 218 de la fibra óptica 138 en relación con la sonda 190, el mango 146, la cánula 150, y/o el elemento óptico 152. Por ejemplo, como se ha mostrado en la fig. 6, las fuerzas electroestáticas atractivas entre la fibra óptica 138 y el electrodo 194 pueden provocar que una parte de la parte distal 218 se doble hacia el electrodo 194. Debido a que una parte de la parte distal 218 se dobla hacia el electrodo 194, la parte distal 218 es desplazada en relación con la cánula 150 y/o el elemento óptico 152 de tal manera que la parte distal 218 se ha movido en la dirección 210. En diferentes realizaciones, la parte de la parte distal 218 que se dobla hacia el electrodo 194 y/o 196 puede ser entre 0% y 50%, 10% y 40%, y 20% y 30% de la longitud 220 de la parte distal 218. En diferentes realizaciones, la parte de la parte distal 218 que se mueve puede ser entre 50% y 100%, 60% y 90%, y 70% y 80% de la longitud 220 de la parte distal 218. La parte de la parte distal 218 que se dobla puede ser más proximal que la parte de la parte distal 218 que se mueve.

Un proceso de escaneo, durante el cual la fibra óptica 138 que es hecha oscilar con respecto al elemento óptico 152, puede incluir múltiples ciclos de frecuencia. Por ejemplo, durante una primera mitad de un ciclo de frecuencia, por ejemplo, se puede aplicar una tensión positiva a la fibra óptica 138 de tal manera que la fibra óptica 138 adquiera una carga positiva (como se ha mostrado en la fig. 6). Se puede aplicar una tensión negativa al electrodo 194 de tal manera que el electrodo adquiera una carga negativa. Las fuerzas electroestáticas atractivas entre el electrodo 194 y la fibra óptica 138 pueden provocar que la fibra óptica 138 se mueva en la dirección 210 (por ejemplo, hacia el electrodo 194). De forma correspondiente, en algunas realizaciones, el extremo distal 180 puede moverse en la dirección 204 (por ejemplo, como se ha mostrado en la fig. 3).

En realizaciones en las que se cargan múltiples electrodos al mismo tiempo, se puede aplicar una tensión positiva al electrodo 196 de tal manera que el electrodo 196 adquiera una carga positiva (como se ha mostrado en la fig. 6), durante la primera mitad del ciclo de frecuencia. Las fuerzas electroestáticas repulsivas entre el electrodo 196 y la fibra óptica 138 (que pueden ser cargadas positivamente) pueden provocar que la fibra óptica 138 se mueva en la dirección 210 (por ejemplo, hacia el electrodo 194). De forma correspondiente, en algunas realizaciones, el extremo distal 180 puede moverse en la dirección 204 (como se ha mostrado en la fig. 3).

Por ejemplo, durante una segunda mitad del ciclo de frecuencia, se puede aplicar una tensión negativa al electrodo 196 de tal manera que el electrodo 196 adquiera una carga negativa. Las fuerzas electroestáticas atractivas entre el electrodo 196 y la fibra óptica 138 (que pueden ser cargadas positivamente) pueden provocar que la fibra óptica 138 se mueva en la dirección 208 (por ejemplo, hacia el electrodo 196). De forma correspondiente, en algunas realizaciones, el extremo distal 180 puede moverse en la dirección 206 (como se ha mostrado en la fig. 4).

En realizaciones que las que se cargan múltiples electrodos al mismo tiempo, se puede aplicar una tensión positiva al electrodo 194 de tal manera que el electrodo 194 adquiera una carga positiva, durante la segunda mitad del ciclo de frecuencia. Las fuerzas electroestáticas repulsivas entre el electrodo 194 y la fibra óptica 138 (que puede ser cargada positivamente) pueden provocar que la fibra óptica 138 se mueva en la dirección 208 (por ejemplo, hacia el electrodo 196). De forma correspondiente, en algunas realizaciones, el extremo distal 180 puede moverse en la dirección 206 (como se ha mostrado en la fig. 4).

La exposición anterior ha descrito la oscilación de la fibra óptica 138 manteniendo la carga de la fibra óptica 138 y cambiando las cargas de los electrodos 194 y 196. En otras realizaciones, las cargas de los electrodos 194 y 196 pueden ser mantenidas y la carga de la fibra óptica 138 puede ser cambiada. En algunas realizaciones, las cargas de los electrodos 194 y 196 son siempre opuestas durante un proceso de escaneo.

Las tensiones que son aplicadas a y/o las cargas que son adquiridas por la fibra óptica 138, el electrodo 194, y/o el electrodo 196 en la exposición en este documento son solo ejemplares. Se ha comprendido que se puede aplicar de forma selectiva tensión negativa a y se puede adquirir una carga negativa por la fibra óptica 138, el electrodo 194, y/o el electrodo 196. De manera similar, se puede aplicar de forma selectiva tensión positiva a y se puede adquirir carga positiva por la fibra óptica 138, el electrodo 194, y/o el electrodo 196. Las diferentes combinaciones de cargas positiva y negativa adquiridas por la fibra óptica 138, el electrodo 194, y/o el electrodo 196 (y la generación posterior de fuerzas electroestáticas atractivas y/o repulsivas) pueden ser controladas mediante, por ejemplo, el controlador 126 del sistema 120 de formación de imágenes (fig. 1).

En algunas realizaciones, la parte distal 218 de la fibra óptica 138 mantiene un perfil lineal durante la oscilación. Por ejemplo, cuando la parte distal 218 de la fibra óptica 138 se mueve en la dirección 210, el extremo distal 180 puede moverse en la misma dirección, por ejemplo, la dirección 204. En otras realizaciones, como se ha descrito en este documento, la parte distal 218 de la fibra óptica 138 es conformada al menos parcialmente arqueada durante la oscilación. Por ejemplo, cuando la parte distal 218 de la fibra óptica 138 se mueve en la dirección 210, el extremo distal 180 puede moverse en la dirección opuesta, por ejemplo, la dirección 206. Tal movimiento puede ocurrir, por ejemplo, cuando la parte distal 180 de la fibra óptica 138 se dobla o desvía en la dirección 210 debido a una fuerza electroestática atractiva entre el electrodo 194 y la fibra óptica 138 que son cargados con diferentes polaridades. El extremo distal 180, en respuesta a la flexión o desviación de la parte distal 218, puede moverse en la dirección 206 de tal manera que la fibra óptica 138 es conformada al menos parcialmente arqueada. Cuando se genera una fuerza electroestática repulsiva entre el electrodo 194 y la fibra óptica 138 y/o se genera una fuerza electroestática entre el electrodo 196 y la fibra óptica 138, la fibra óptica 138 puede volver hacia su posición neutral. La parte distal 218 de la fibra óptica puede moverse en la dirección 208, y el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 puede moverse en la dirección 204. Debido a la fuerza electroestática repulsiva generada entre el electrodo 194 y la fibra óptica 138 y/o una fuerza electroestática atractiva generada entre el electrodo 196 y la fibra óptica 138, la fibra óptica 138 puede ser movida más allá de su posición neutral. Cuando esto ocurre, la parte distal 218 puede doblarse o desviarse en la dirección 208 y el extremo distal 180 puede moverse en la dirección 204 de tal manera que la fibra óptica 138 es conformada al menos parcialmente arqueada. En algunas realizaciones, durante un proceso de escaneo cuando la fibra óptica 138 es hecha oscilar, la parte distal 218 de la fibra óptica 138 cambia periódicamente entre formas al menos parcialmente arqueadas que son imágenes espejo la una de la otra.

Cuando uno o más del electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 adquieren de forma selectiva una carga eléctrica que provoca fuerzas electroestáticas atractivas y/o repulsivas, la fibra óptica 138 puede ser hecha oscilar, como

se ha ilustrado en las figs. 3 y 4, y el haz de formación de imágenes puede ser escaneado a través del tejido biológico objetivo, tal como la retina. En algunas implementaciones, el sistema activador 178 está configurado para hacer oscilar el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 dentro de un intervalo de frecuencia de entre aproximadamente 1 Hz y 100 Hz, entre aproximadamente 1 Hz y 50 Hz, entre aproximadamente 1 Hz y aproximadamente 30 Hz, entre aproximadamente 5 Hz y 20 Hz, entre aproximadamente 10 Hz y 15 Hz, entre aproximadamente 1 Hz y 15 Hz, etc., aunque se han contemplado otros rangos de frecuencia, tanto mayores como menores. En algunas realizaciones, el electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 pueden no tener carga para una mitad de un ciclo de frecuencia y ser cargados para una mitad del ciclo de frecuencia. En otras realizaciones, el electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 pueden tener una carga con una polaridad para una mitad del ciclo de frecuencia y una carga con la polaridad opuesta para una mitad del ciclo de frecuencia. Las duraciones durante las que el electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 no son cargados, son cargados con una polaridad, y/o son cargados con la polaridad opuesta puede ser mayor o menor que una mitad del ciclo de frecuencia.

Las posiciones del extremo distal 180 de la fibra óptica 138 representadas en las figs. 3 y 4 también puede ser la posición neutral para el sistema activador 192. A este respecto, el extremo distal 180 de la fibra óptica 138 puede comenzar en la posición de la fig. 3 o la fig. 4 y luego moverse a la posición de la fig. 4 o fig. 3, respectivamente, tras ser cargado el electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 y fuerzas que urgen la fibra óptica 138 en la dirección 208 o 210. Cuando el electrodo 194, el electrodo 196, y/o la fibra óptica 138 son cargadas de forma opuesta, la fibra óptica 138 se mueve hacia la dirección opuesta 210 o 208.

En algunas realizaciones, el sistema activador 192 puede incluir uno o más elementos de restauración (por ejemplo, resorte helicoidal, resorte de ballesta, etc.) para facilitar el retorno de la fibra óptica 138 hacia la posición neutral, inicial después de que las fuerzas electroestáticas hayan provocado el movimiento de la fibra óptica 138 en las direcciones 208 y/o 210. El elemento o elementos de restauración pueden ser mecánicos y/o electromagnéticos.

Al menos una parte de la fibra óptica 138 puede tener un diámetro reducido en comparación con otras partes de la misma fibra óptica y/o fibras ópticas convencionales. Por ejemplo, la parte distal 218 de la fibra óptica 138 puede tener un diámetro reducido. La parte distal 218 puede incluir la extensión de la fibra óptica 138 que está siendo activada electroestáticamente. El diámetro reducido puede ser de entre 1% y 99%, 5% y 95%, 10% y 90%, 20% y 80%, 30% y 70%, 40% y 60%, etc., del diámetro de otras partes de la misma fibra óptica y/o fibras ópticas convencionales. Por ejemplo, el diámetro reducido puede estar en el intervalo de 2 μm a 125 μm , 5 μm a 120 μm , etc. Un diámetro menor da como resultado un área en sección transversal menor. Una fibra óptica con un área en sección transversal menor puede requerir menos momento de flexión para provocar que la fibra óptica se doble (por ejemplo, cuando la parte distal de la fibra óptica 138 es activada por una fuerza electroestática). En algunas realizaciones, al menos una parte de la fibra óptica 138 puede ser estrechada (por ejemplo, mediante un proceso de extrusión, grabado, etc.). Por ejemplo, la parte de la fibra óptica 138 que tiene un diámetro reducido puede haber sido estrechada. Durante el estrechamiento de la fibra, la geometría de la fibra óptica puede escalarse proporcionalmente. Por ejemplo, una fibra de 125 μm de diámetro con un núcleo de 5 μm de diámetro es estrechado a la mitad, el resultado es una fibra de 62,5 μm de diámetro con un núcleo de 2,5 μm de diámetro. En algunas realizaciones, el diámetro de la fibra óptica 138 es reducido grabando la parte distal 218 de tal manera que el diámetro total es reducido pero el diámetro del núcleo permanece igual. Por ejemplo, una fibra de 125 μm de diámetro con un núcleo de 5 μm de diámetro puede ser grabado de modo que el diámetro total es reducido a 62,5 μm pero el diámetro del núcleo permanece en 5 μm .

La sonda 190 puede incluir el miembro rígido 212 posicionado junto a la fibra óptica 138. El miembro rígido 212 puede estar formado de un material que es más rígido que la fibra óptica 138 de tal manera que la fibra óptica 138 experimente un momento de flexión (por ejemplo, como resultado de su propio peso) solo en una parte distal del extremo distal del miembro rígido 212. El miembro rígido 212 puede estar configurado para añadir rigidez a una parte más grande (en comparación con cuando no se ha proporcionado ningún miembro rígido 212 en la sonda 190) de la fibra óptica 138 en el interior de la fibra óptica 138 de tal manera que la fibra óptica 138 es mantenida en una posición neutral coaxial con un eje longitudinal de la cánula 150.

Cuando el miembro rígido 212 está incluido en la sonda 190, puede extenderse longitudinalmente a lo largo de al menos una parte de la sonda 190 y la fibra óptica 138. El miembro rígido 212 puede estar dispuesto completamente en la cánula 150 o el alojamiento 146, o partes del miembro rígido 212 pueden estar dispuestas parcialmente tanto en la cánula 150 como en el alojamiento 146. En algunas realizaciones, el miembro rígido 212 puede ser descrito como un tubo rígido que está dispuesto anularmente alrededor de la fibra óptica 138. Por ejemplo, el miembro rígido 212 puede extenderse alrededor de la totalidad del perímetro de la fibra óptica 138. En otras realizaciones, el miembro rígido 212 puede ser descrito como una placa rígida dispuesta junto a una parte de la fibra óptica 138. Tal miembro rígido puede ser lineal, curvado, o alguna de sus combinaciones. El miembro rígido 212 puede estar asegurado a la fibra óptica 138 utilizando un adhesivo adecuado (por ejemplo, pegamento, epoxi, etc.), conexión mecánica, y/o sus combinaciones. De manera similar, el miembro rígido 212 puede estar asegurado al mango 146 utilizando un adhesivo adecuado (por ejemplo, pegamento, epoxi, etc.), conexión mecánica, y/o sus combinaciones.

Cuando el miembro rígido 212 es proporcionado en el mango 146, el miembro rígido 212 se puede doblar en una dirección de carga elástica para proporcionar una fuerza de restauración ajustada para la fibra óptica 138 (por ejemplo, hacia una posición neutral cuando la fibra óptica 138 es coaxial con un eje longitudinal de la cánula 150). Por ejemplo, el

miembro rígido 212 se podría doblar en la dirección indicada por la flecha 208 de tal manera que la fibra óptica 138 es cargada elásticamente hacia la posición neutral (por ejemplo, en una dirección opuesta a la dirección 210 en la que la fibra óptica 138 es urgida por las fuerzas electroestáticas atractivas entre la fibra óptica 138 y el electrodo 194). El miembro rígido 212 se puede curvar además de o en lugar de uno o más elementos de restauración que están configurados para devolver la fibra óptica 138 a una posición neutral.

La exposición siguiente se refiere en general a las figs. 7, 8, y 9. La fig. 7 es una ilustración estilizada de una vista posterior en sección transversal de una sonda de formación de imágenes a lo largo de la línea en sección 8-8 de la fig. 5 de acuerdo con un aspecto de la presente descripción. Las figs. 8 y 9 son ilustraciones estilizadas de una vista posterior en sección transversal de una sonda de formación de imágenes, similares a la de la fig. 7, pero que muestran múltiples electrodos de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La realización ilustrada de la fig. 7 incluye dos electrodos 232 y 242 dentro de la cánula 150. Los electrodos 232 y 242 pueden estar posicionados o dispuestos anularmente alrededor de la fibra óptica 222, dispuestos simétricamente alrededor de la fibra óptica 222, opuestos entre sí, dentro de dos mitades igualmente divididas de la cánula 150, y/o separados 180°. La realización ilustrada de la fig. 8 incluye tres electrodos 264, 274, y 284 dentro de la cánula 150. Los electrodos 264, 274, y 284 pueden estar posicionados o dispuestos anularmente alrededor de la fibra óptica 252, dentro de tercios igualmente divididos de la cánula 150, y/o separados 120°. La realización ilustrada de la fig. 9 incluye cuatro electrodos 302, 312, 322, y 332. Los electrodos 302, 312, 322, y 332 pueden estar posicionados o dispuestos anularmente alrededor de la fibra óptica 292, dispuestos simétricamente alrededor de la fibra óptica 292, opuestos al menos a otro electrodo, dentro de cuadrantes igualmente divididos de la cánula 150, y/o separados 90°.

Se ha comprendido que la orientación y/o el posicionamiento de los electrodos de las figs. 7, 8, y 9 pueden variar en diferentes realizaciones. Por ejemplo, los electrodos 232 y 242 pueden ser hechos girar 90° alrededor de la fibra óptica 222 de tal manera que los electrodos 232 y 242 estén posicionados a la izquierda y derecha de la cánula 150 (en comparación con los que están posicionados en una parte superior o inferior de la cánula 150 cuando la cánula 150 es vista desde la perspectiva mostrada en la fig. 7). Por ejemplo, dos de los electrodos 262, 272, y 282 pueden estar posicionados cerca unos de otros y más lejos del tercer electrodo (en comparación con los que están posicionados en tercios igualmente divididos como se ha mostrado en la fig. 8).

Los perfiles de movimiento expuestos en el contexto de los sistemas activadores con dos electrodos, como se ha mostrado en, por ejemplo, la fig. 7, enfocados en general en el desplazamiento lineal de la fibra óptica 138 dentro de la cánula, que pueden ser utilizados para producir un escaneo lineal correspondiente del haz de formación de imágenes a través del tejido biológico objetivo. En otras realizaciones (como se ha mostrado en, por ejemplo, las figs. 8 y 9), el sistema activador incluye tres, cuatro, o más electrodos que pueden ser activados de forma selectiva, junto con la fibra óptica, para escanear la fibra óptica y el haz de formación de imágenes a través de un patrón de escaneo bidimensional. El patrón de escaneo bidimensional puede incluir una espiral, un ráster, un asterisco de radio constante, un asterisco de radio múltiple, una trayectoria plegada multiplicada, otros patrones de escaneo bidimensional, otros patrones, y/o sus combinaciones.

Por ejemplo, se puede conseguir un patrón de escaneo de asterisco de radio constante utilizando la realización ilustrada de la fig. 9. Un controlador, por ejemplo, el controlador 126 del sistema 120 de formación de imágenes (fig. 1) puede ejecutar o provocar que se ejecuten las operaciones siguientes. El electrodo 262 y la fibra óptica 252 pueden ser cargados polaridades opuestas de tal manera que se genere una fuerza electroestática atractiva que provoca que la fibra óptica 252 se mueva hacia el electrodo 262. La misma magnitud y tensión de polaridad se puede aplicar a los electrodos 272 y 282 de tal manera que son cargados igual que el electrodo 262, mientras que el electrodo 262 permanece cargado. La fibra óptica 252 experimenta fuerzas electroestáticas atractivas, iguales en las direcciones de los electrodos 262, 272, y 282, que provocan que la fibra óptica 252 se mueva a la posición neutral (por ejemplo, coaxial con el eje longitudinal de la cánula 150). Así, el primer brazo (por ejemplo, en la dirección del electrodo 252) del asterisco es escaneado.

Para escanear el siguiente brazo (por ejemplo, en la dirección del electrodo 272) del asterisco, se puede aplicar una tensión con la misma polaridad que la tensión aplicada a la fibra óptica 252 a los electrodos 262 y 282 de tal manera que los electrodos 262 y 282 adquieran la misma carga de polaridad que la fibra óptica 252 y se generan fuerzas electroestáticas repulsivas entre la fibra óptica 252 y los electrodos 262 y 282. La carga de la fibra óptica 252 es mantenida (en comparación con la carga de la fibra óptica 252 durante el escaneo del primer brazo del asterisco). La carga del electrodo 272 también es mantenida (en comparación con la carga del electrodo 272 cuando los tres componentes estaban cargados igualmente) de tal manera que una fuerza electroestática atractiva continúa existiendo entre la fibra óptica 252 y el electrodo 272. Debido a la fuerza electroestática atractiva entre la fibra óptica 252 y el electrodo 272, y a las fuerzas electroestáticas repulsivas entre la fibra óptica 252 y los electrodos 262 y 282, la fibra óptica 252 puede moverse hacia el electrodo 272. Se puede aplicar la misma magnitud y tensión de polaridad a los electrodos 262 y 282 (en comparación con la tensión aplicada al electrodo 272 los tres electrodos estaban cargados igualmente) de tal manera que son cargados igual que el electrodo 272, mientras que la carga del electrodo 272 es mantenida. La fibra óptica 252 experimenta fuerzas electroestáticas atractivas, iguales en las direcciones de los electrodos 262, 272, y 282, que provocan que la fibra óptica 252 se mueva a la posición neutral (por ejemplo, coaxial con el eje longitudinal de la cánula 150). Así, el segundo brazo (por ejemplo, en la dirección del electrodo 262) del asterisco

es escaneado.

Para escanear el último brazo (por ejemplo, en la dirección del electrodo 282) del asterisco, se puede repetir un procedimiento similar como se ha descrito con respecto a escanear el segundo brazo del asterisco. Se puede aplicar una tensión con la misma polaridad que la tensión aplicada a la fibra óptica 252 a los electrodos 262 y 272 de tal manera que los electrodos 262 y 272 adquieran la misma carga de polaridad que la fibra óptica 252 y se generen fuerzas electroestáticas repulsivas entre la fibra óptica 252 y los electrodos 262 y 272. La carga de la fibra óptica 252 es mantenida (en comparación con la carga de la fibra óptica 252 durante el escaneo del primer brazo del asterisco). La carga del electrodo 282 también es mantenida (en comparación con la carga del electrodo 282 cuando los tres electrodos estaban cargados igualmente) de tal manera que una fuerza electroestática atractiva continua existiendo entre la fibra óptica 252 y el electrodo 282. Debido a la fuerza electroestática atractiva entre la fibra óptica 252 y los electrodos 282, y a las fuerzas electroestáticas repulsivas entre la fibra óptica 252 y los electrodos 262 y 272, la fibra óptica 252 puede moverse hacia los electrodos 282. Se pueden aplicar la misma magnitud y tensión de polaridad a los electrodos 262 y 272 (en comparación con la tensión aplicada al electrodo 282 los tres electrodos estaban cargados igualmente) de tal manera que son cargados igual que el electrodo 282, mientras que la carga del electrodo 282 es mantenida. La fibra óptica 252 experimenta fuerzas electroestáticas atractivas, iguales en las direcciones de los electrodos 262, 272, y 282, que provocan que la fibra óptica 252 se mueva a la posición neutral (por ejemplo, coaxial con el eje longitudinal de la cánula 150). Así, el tercer brazo (por ejemplo, en la dirección del electrodo 262) del asterisco es escaneado.

El patrón de escaneo bidimensional descrito anteriormente es un ejemplo no limitativo. Por ejemplo, uno, dos, tres, cuatro, cinco, o más brazos de un patrón de asterisco pueden ser escaneados. Por ejemplo, la capa 224 eléctricamente conductora y/o uno o más de los electrodos 302, 312, 322, y 332 de la fig. 9 pueden ser cargados y descargados de forma selectiva de tal manera que la fibra óptica 222 es movida para realizar un escaneo de ráster. Otros patrones de escaneo unidimensionales o bidimensionales pueden ser implementados por los dispositivos, sistemas, y métodos descritos en este documento. En algunas realizaciones, la fibra óptica y/o el electrodo o electrodos pueden ser cargados con polaridades discretas. En algunas realizaciones, se puede aplicar un intervalo analógico de tensiones a la fibra óptica y/o al electrodo o electrodos de tal manera se generan grados variables de fuerzas electroestáticas atractivas y/o repulsivas. Utilizando tensiones analógicas se puede proporcionar un método de escaneo de alta resolución debido al intervalo analógico de atracción y/o repulsión parcial entre la fibra óptica y/o el electrodo o electrodos.

La fibra óptica 222 se ha mostrado para incluir una capa 224 eléctricamente conductora. Cuando una tensión se ha descrito en este documento como estando aplicada a una fibra óptica o se ha descrito en este documento una fibra óptica como adquiriendo una carga, se ha comprendido que la tensión es aplicada a la capa eléctricamente conductora y la capa eléctricamente conductora adquiere la carga. En algunas realizaciones, la fibra óptica no incluye una capa eléctricamente conductora. En otras realizaciones, la fibra óptica 222 incluye la capa 224 eléctricamente conductora y una capa aislante 226 (como se ha mostrado en la fig. 10). La capa 224 eléctricamente conductora puede estar dispuesta y/o posicionada entre la fibra óptica 222 y la capa aislante 226.

La capa aislante 226 puede ser o puede incluir un material dieléctrico. Los materiales dieléctricos son aislantes por naturaleza, y las cargas eléctricas no fluyen a través de ellos. Así, pueden servir para el mismo propósito que solamente una capa aislante (tal como los descritos en este documento con respecto a las figs. 7, 8, y 9). Los materiales dieléctricos también pueden tener una o más características ventajosas. Por ejemplo, los materiales dieléctricos pueden ser polarizados por un campo eléctrico aplicado. Es decir, las cargas eléctricas pueden cambiar desde sus posiciones de equilibrio y pueden estar alineadas basándose en el campo eléctrico aplicado. Por ejemplo, en la realización ilustrada de la fig. 10, la capa 224 eléctricamente conductora puede adquirir una carga positiva. Cuando la capa aislante 226 es solamente una capa aislante, la resistencia mecánica del campo eléctrico asociado con la capa 224 eléctricamente conductora es disminuida a través del grosor de la capa aislante 226. Cuando la capa aislante 226 es o incluye un material dieléctrico, la parte (una parte orientada hacia el interior o hacia la fibra óptica) de la capa aislante 226 más cercana a la capa 224 eléctricamente conductora cargada positivamente es polarizada y adquiere una carga al menos parcialmente negativa. La parte (una parte orientada hacia el exterior o hacia la cánula) de la capa aislante más alejada de la capa 224 eléctricamente conductora cargada positivamente también es polarizada y adquiere una carga al menos parcialmente positiva. Una superficie exterior de la capa aislante 226 puede tener la misma carga de polaridad que la capa 224 eléctricamente conductora. Así, el campo eléctrico asociado con la capa 224 eléctricamente conductora es transportado a través de la capa aislante 226 y presentado exteriormente (por ejemplo, hacia uno o más electrodos). Tal disposición puede facilitar la oscilación de la fibra óptica a través de fuerzas electroestáticas.

De una manera similar, una o más de las capas aislantes asociadas con los electrodos de las figs. 7, 8, y 9 pueden ser o pueden incluir un material dieléctrico. Por ejemplo, las capas aislantes orientadas hacia el interior o hacia la fibra óptica pueden ser o pueden incluir un material dieléctrico. Una superficie interior de las capas aislantes puede tener la misma carga de polaridad que los electrodos. Así, el campo eléctrico asociado con los electrodos es transportado a través de las capas aislantes y presentado interiormente (por ejemplo, hacia la fibra óptica). Tal disposición puede facilitar la oscilación de la fibra óptica a través de fuerzas electroestáticas.

Con referencia de nuevo a las figs. 7, 8, y 9, las superficies orientadas hacia el exterior (por ejemplo, hacia la cánula 150) de los electrodos se han mostrado para incluir una capa aislante. Por ejemplo, el electrodo 232 puede incluir la capa aislante 234 (fig. 7), el electrodo 242 puede incluir la capa aislante 244 (fig. 7), el electrodo 262 puede incluir la capa

aislante 262 (fig. 8), el electrodo 272 puede incluir la capa aislante 274 (fig. 8), el electrodo 282 puede incluir la capa aislante 284 (fig. 8), el electrodo 302 puede incluir la capa aislante 304 (fig. 9), el electrodo 312 puede incluir la capa aislante 314 (fig. 9), el electrodo 322 puede incluir la capa aislante 324 (fig. 9), y/o el electrodo 332 puede incluir la capa aislante 334 (fig. 9). Las capas aislantes en superficies orientadas hacia el exterior de los electrodos pueden impedir el contacto indeseado entre los electrodos y la cánula 150. El contacto puede dar como resultado tensión que es aplicada a la cánula 150. La aplicación de una tensión a la cánula 150 puede ser indeseable cuando la sonda óptica está dispuesta al menos parcialmente en el ojo de un paciente. La capa aislante puede ser o puede incluir un revestimiento aislante. La capa aislante puede estar acoplada a la fibra óptica 138 utilizando procesos químicos; un adhesivo adecuado (por ejemplo, pegamento, epoxi, etc.); conexión mecánica; y/o sus combinaciones. La capa aislante puede ser y/o puede incluir una cerámica, polietileno, cloruro de polivinilo, poliimida, polímeros, parileno, dióxido de silicio, dióxido de titanio, y/u otro material aislante o dieléctrico adecuado.

Las figs. 7, 8, y 9 muestran que las superficies orientadas hacia el interior (por ejemplo, hacia la fibra óptica 138) de los electrodos y/o una superficie exterior de la fibra óptica pueden incluir una capa aislante. Por ejemplo, el electrodo 232 puede incluir la capa aislante 236 (fig. 7), el electrodo 242 puede incluir la capa aislante 246 (fig. 7), el electrodo 262 puede incluir la capa aislante 266 (fig. 8), el electrodo 272 puede incluir la capa aislante 276 (fig. 8), el electrodo 282 puede incluir la capa aislante 286 (fig. 8), el electrodo 302 puede incluir la capa aislante 306 (fig. 9), el electrodo 312 puede incluir la capa aislante 316 (fig. 9), el electrodo 322 puede incluir la capa aislante 326 (fig. 9), y/o el electrodo 332 puede incluir la capa aislante 336 (fig. 9). Al menos una parte (por ejemplo, la totalidad de la fibra óptica 138 en el interior de la sonda 190, la parte distal 218 de la fibra óptica 138, la parte de la fibra óptica 138 que incluye una capa eléctricamente conductora) de fibra óptica 222 puede incluir una capa aislante. Por ejemplo, la fibra óptica 222 puede incluir la capa aislante 226. Las capas aislantes en superficies orientadas hacia el interior de los electrodos y/o una superficie exterior de la fibra óptica pueden estar configuradas para impedir la comunicación eléctrica entre los electrodos y la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica. Las capas aislantes pueden impedir la descarga eléctrica indeseada cuando la fibra óptica entra en contacto con uno o más electrodos. La descarga eléctrica puede dar como resultado fuerzas electroestáticas que existen entre la fibra óptica y uno o más electrodos que se están extinguiendo. La descarga eléctrica también puede provocar chispas. El contacto entre la fibra óptica y uno o más electrodos puede ocurrir durante la activación de la fibra óptica cuando la fibra óptica es atraída electroestáticamente hacia uno o más electrodos. Por ejemplo, si una superficie exterior de la fibra óptica incluye una capa eléctricamente conductora que entra en contacto con un electrodo eléctricamente conductor, se puede producir una descarga eléctrica. Tal descarga eléctrica puede ser indeseable cuando la sonda óptica está dispuesta al menos parcialmente en el ojo de un paciente. La capa aislante puede ser o puede incluir un revestimiento aislante. La capa aislante puede estar acoplada a la fibra óptica 138 utilizando procesos químicos; un adhesivo adecuado (por ejemplo, pegamento, epoxi, etc.); conexión mecánica; y/o sus combinaciones. La capa aislante puede ser y/o incluir una cerámica, polietileno, cloruro de polivinilo, poliimida, polímeros, parileno, dióxido de silicio, dióxido de titanio, y/u otro material aislante o dieléctrico adecuado.

Se ha comprendido que, cuando un electrodo y/o fibra óptica se ha descrito como incluyendo una capa aislante, la capa aislante puede ser un componente distinto de la propia fibra óptica, tal como un revestimiento, manguito, etc., que es aplicado y/o acoplado de otra manera a la fibra óptica. En algunas realizaciones, una o más de las capas aislantes de los electrodos y/o la fibra óptica pueden incluir un material dieléctrico, como se ha descrito con más detalle con respecto a la fig. 10. En algunas realizaciones, las capas aislantes orientadas hacia el exterior y hacia el interior de los electrodos y/o la fibra óptica pueden ser o pueden incluir los mismos materiales. En otras realizaciones, las capas aislantes orientadas hacia el exterior y hacia el interior pueden ser o pueden incluir diferentes materiales. Por ejemplo, las capas aislantes orientadas hacia el interior pueden ser o pueden incluir un material dieléctrico mientras que las capas aislantes orientadas hacia el exterior no son o no incluyen un material dieléctrico.

Las realizaciones como se han descrito en este documento pueden proporcionar una sonda de formación de imágenes que tiene un activador que utiliza al menos un electrodo cargado para impartir movimiento a una fibra óptica posicionada dentro de una sonda de formación de imágenes mediante una fuerza electroestática. Los ejemplos proporcionados anteriormente son solo ejemplares y no están destinados a ser limitativos. Un experto en la técnica puede concebir otros sistemas de acuerdo con las realizaciones descritas que están destinados a estar dentro del alcance de esta descripción. Como tal, la aplicación está limitada solo por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una sonda de formación de imágenes oftálmicas, que comprende:
- un mango (146);
- 5 una cánula (150) acoplada al mango, la cánula dimensionada y conformada para su inserción a través de una esclerótica de un ojo para facilitar la formación de imágenes de una retina del ojo;
- una fibra óptica (138) posicionada al menos parcialmente dentro del mango y la cánula, teniendo la fibra óptica una capa (224) eléctricamente conductora, la fibra óptica configurada para recibir una luz de formación de imágenes procedente de una fuente de luz de formación de imágenes y guiar la luz de formación de imágenes a un elemento óptico (152) posicionado dentro de la parte distal de la cánula; y
- 10 un sistema activador (192) configurado para impartir movimiento a la fibra óptica, incluyendo el sistema activador un electrodo (194, 196, 232, 242, 262, 272, 282, 302, 312, 322, 332) posicionado dentro de la cánula y configurado para impartir movimiento a la fibra óptica impartiendo selectivamente una carga eléctrica al menos a uno del electrodo y la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica.
2. La sonda de la reivindicación 1, en la que:
- 15 el electrodo se extiende a lo largo de al menos un tercio (1/3) de una extensión longitudinal de la cánula.
3. La sonda de la reivindicación 1, en la que:
- el sistema activador incluye además un segundo electrodo posicionado dentro de la cánula.
4. La sonda de la reivindicación 3, en la que:
- el electrodo y el segundo electrodo están dispuestos simétricamente alrededor de la fibra óptica.
- 20 5. La sonda de la reivindicación 3, en la que:
- el sistema activador está configurado para impartir movimiento a la fibra óptica para escanear la luz de formación de imágenes sobre un patrón de escaneo bidimensional.
6. La sonda de la reivindicación 5, en la que:
- 25 el patrón de escaneo bidimensional comprende al menos uno de una espiral, un ráster, un patrón de asterisco de radio constante, un patrón de asterisco de radio múltiple, y una trayectoria plegada multiplicada.
7. La sonda de la reivindicación 1, en la que la fibra óptica está dispuesta según una o más de las siguientes:
- (i) la fibra óptica incluye una capa aislante (226);
- (ii) la fibra óptica incluye una capa aislante, la capa eléctricamente conductora está dispuesta entre la fibra óptica y la capa aislante;
- 30 (iii) la fibra óptica incluye una capa aislante y la capa aislante comprende un material dieléctrico.
8. La sonda de la reivindicación 1, en la que: una superficie orientada hacia el interior del electrodo incluye una capa aislante.
9. La sonda de la reivindicación 1, en la que: una superficie orientada hacia el exterior del electrodo incluye una capa aislante.
- 35 10. La sonda de la reivindicación 1, en la que:
- una sección proximal de la fibra óptica está asegurada de forma fija a una parte proximal del mango.
11. La sonda de la reivindicación 1, en la que: el electrodo está asegurada de forma fija a la cánula.
12. La sonda de la reivindicación 1, en la que el elemento óptico está dispuesto según una o más de las siguientes:
- (i) el elemento óptico comprende una lente de índice de gradiente (GRIN);
- 40 (ii) el elemento óptico está acoplado mecánicamente a un extremo distal de la fibra óptica de modo que el elemento óptico se mueve con el extremo distal de la fibra óptica.
13. La sonda de la reivindicación 1, en la que:

el sistema de activación está configurado para impartir movimiento a la fibra óptica para explorar la luz de formación de imágenes a lo largo de un patrón de escaneo con una extensión lineal en un tejido biológico objetivo entre 1 mm y 5 mm a una distancia de entre 5 mm y 10 mm desde un extremo distal de la cánula.

14. Un sistema de formación de imágenes oftálmico, que comprende:

5 una fuente de luz (122) de formación de imágenes para generar una luz de formación de imágenes;

una guía óptica en comunicación óptica con la fuente de luz de formación de imágenes, la guía óptica configurada para recibir la luz de formación de imágenes generada a partir de la fuente de luz de formación de imágenes; y

una sonda (130) en comunicación óptica con la guía óptica, incluyendo la sonda

10 un mango (146);

una cánula (150) acoplada al mango, la cánula dimensionada y conformada para su inserción a través de una esclerótica de un ojo para facilitar la formación de imágenes de una retina del ojo;

15 una fibra óptica (138) posicionada al menos parcialmente dentro del mango y la cánula, incluyendo la fibra óptica una capa (224) eléctricamente conductora, en la que la fibra óptica está configurada para recibir la luz de formación de imágenes procedente de la guía óptica y guiar la luz de formación de imágenes hacia un elemento óptico (152) posicionado dentro de la parte distal de la cánula; y

20 un sistema activador (192) configurado para impartir movimiento a la fibra óptica, incluyendo el sistema activador un electrodo (194, 196, 232, 242, 262, 272, 282, 302, 312, 322, 332) posicionado dentro de la cánula y configurado para impartir movimiento a la fibra óptica impartiendo selectivamente una carga eléctrica al menos a uno del electrodo y la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica.

15. El sistema de formación de imágenes oftálmicas de la reivindicación 14, que comprende, además:

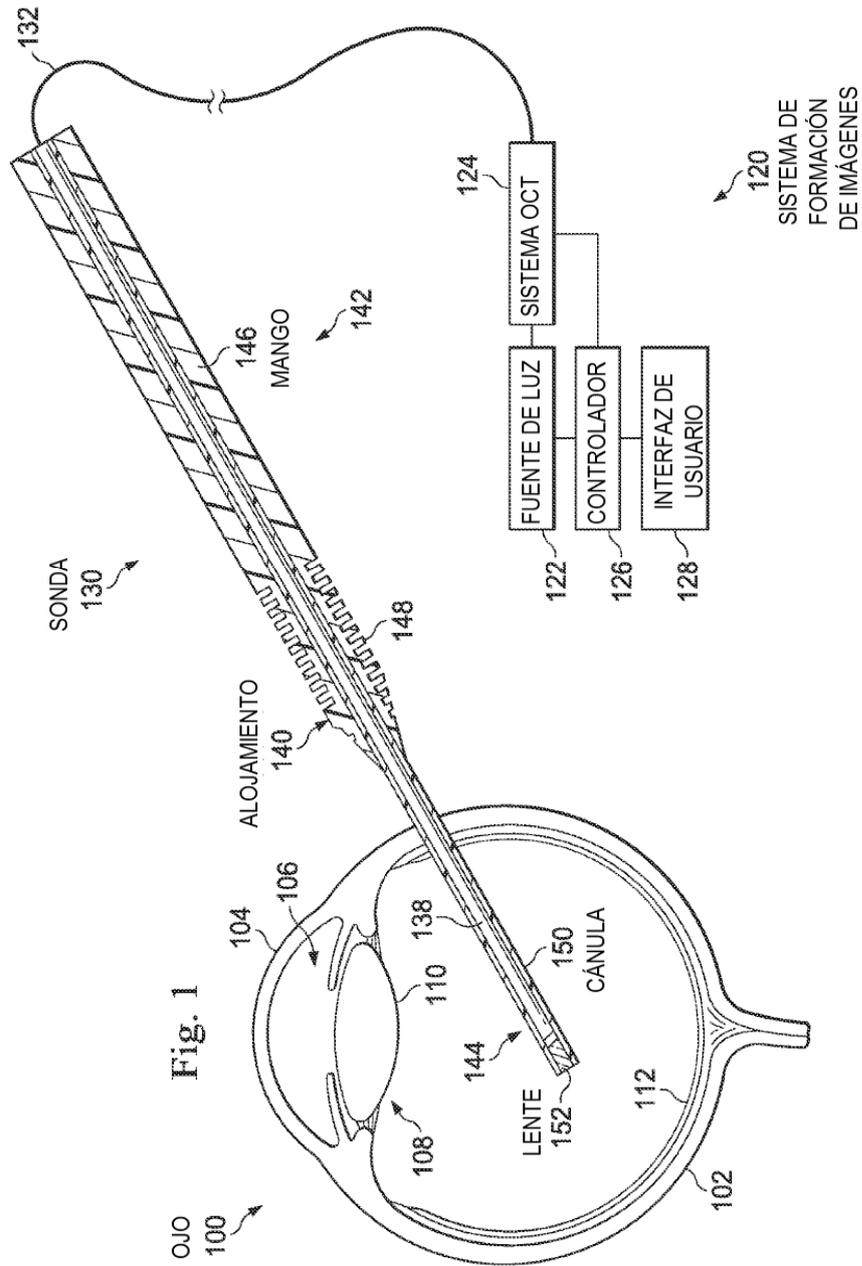
un controlador en comunicación con la fuente de luz, el controlador configurado para controlar la activación de la fuente de luz de formación de imágenes para un procedimiento de formación de imágenes de tomografía de coherencia óptica (OCT).

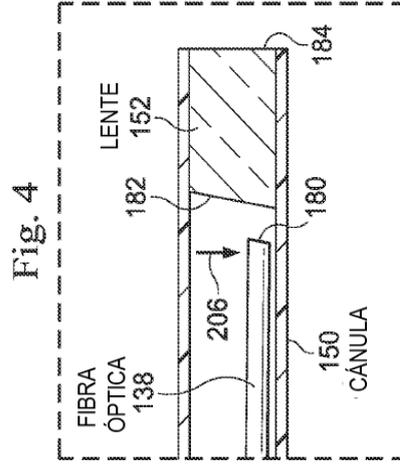
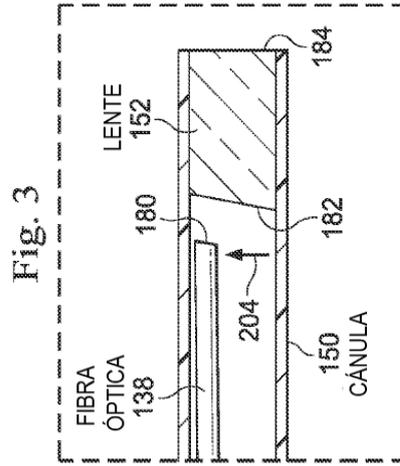
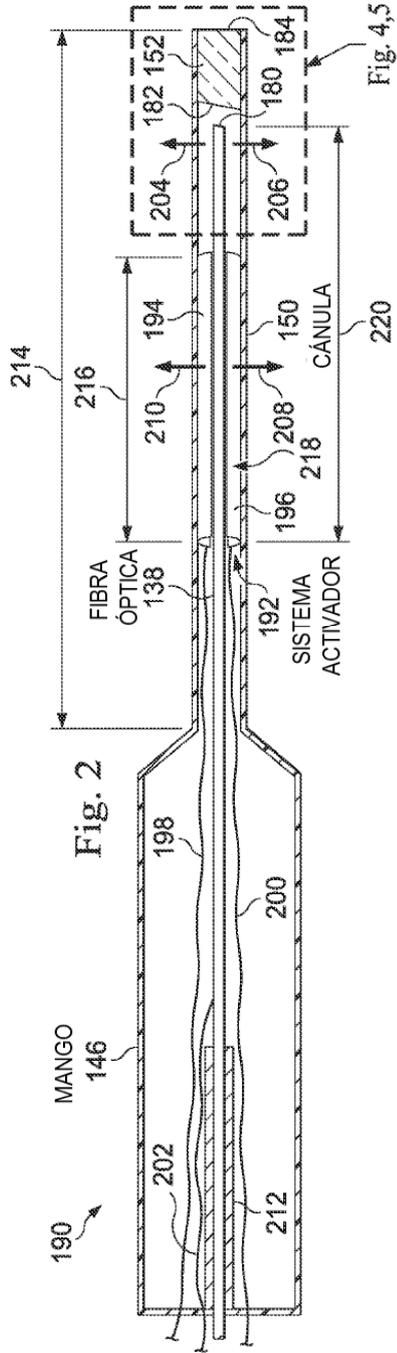
25 16. El sistema de formación de imágenes oftálmicas de la reivindicación 15, en el que:

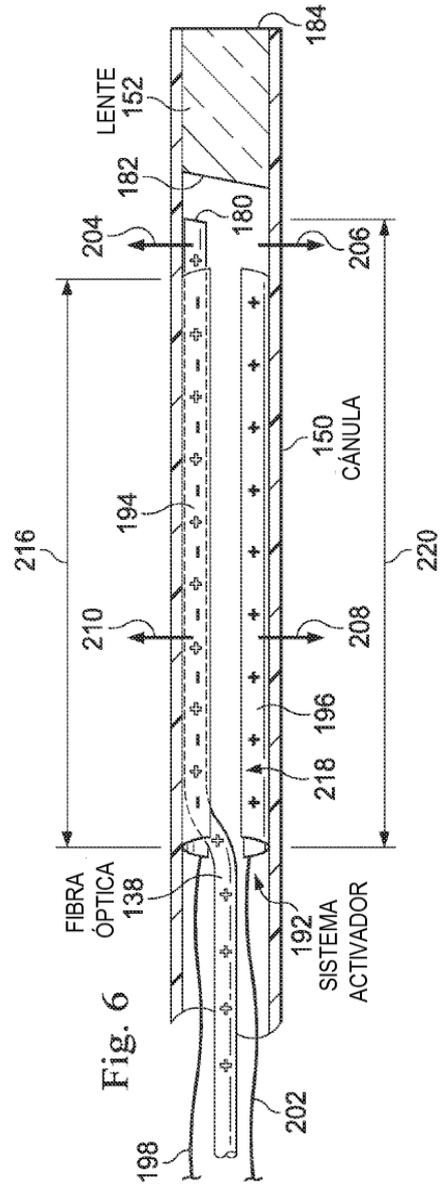
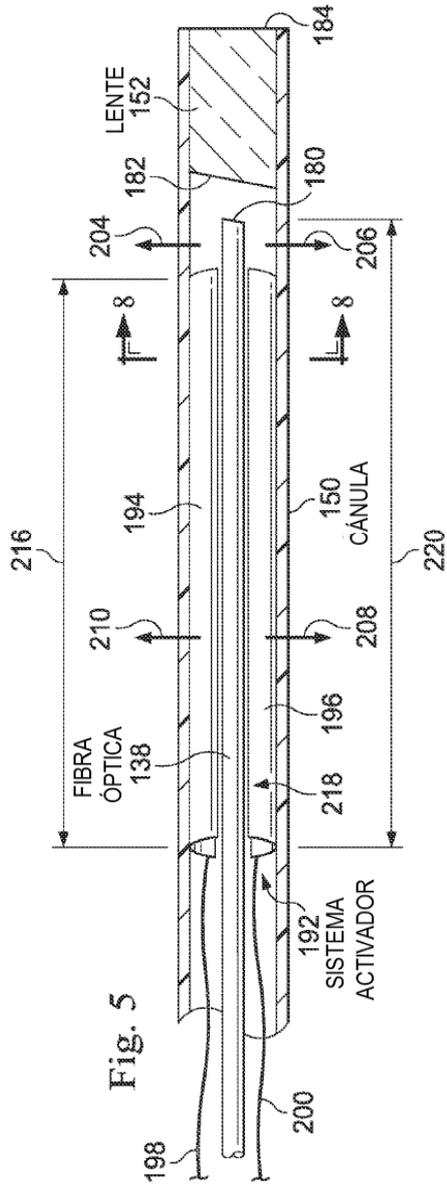
el controlador está configurado además para procesar datos obtenidos por la sonda y emitir datos de formación de imágenes a un monitor en comunicación con el controlador.

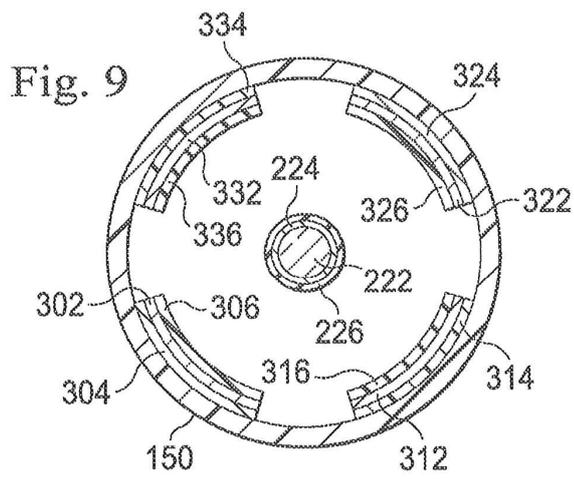
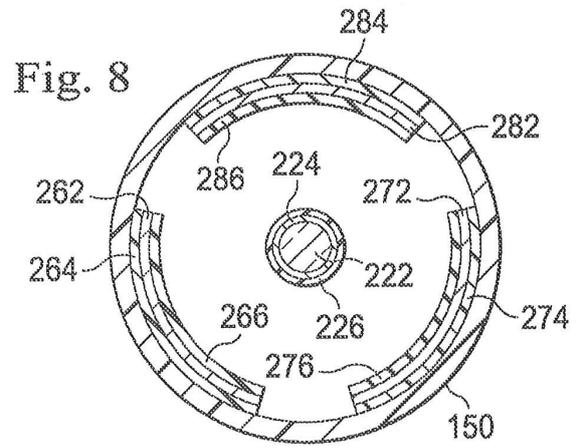
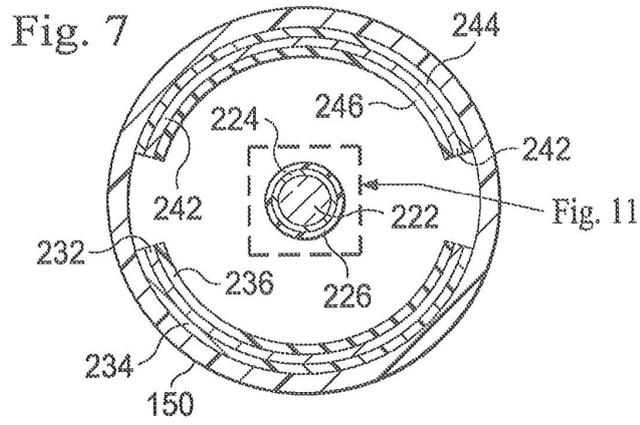
17. El sistema de formación de imágenes oftálmicas de la reivindicación 15, en el que:

30 el controlador está configurado además para provocar de forma selectiva que se aplique una tensión al menos a uno de la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica y el electrodo de tal manera que al menos uno de la capa eléctricamente conductora de la fibra óptica y el electrodo adquiera una carga eléctrica.









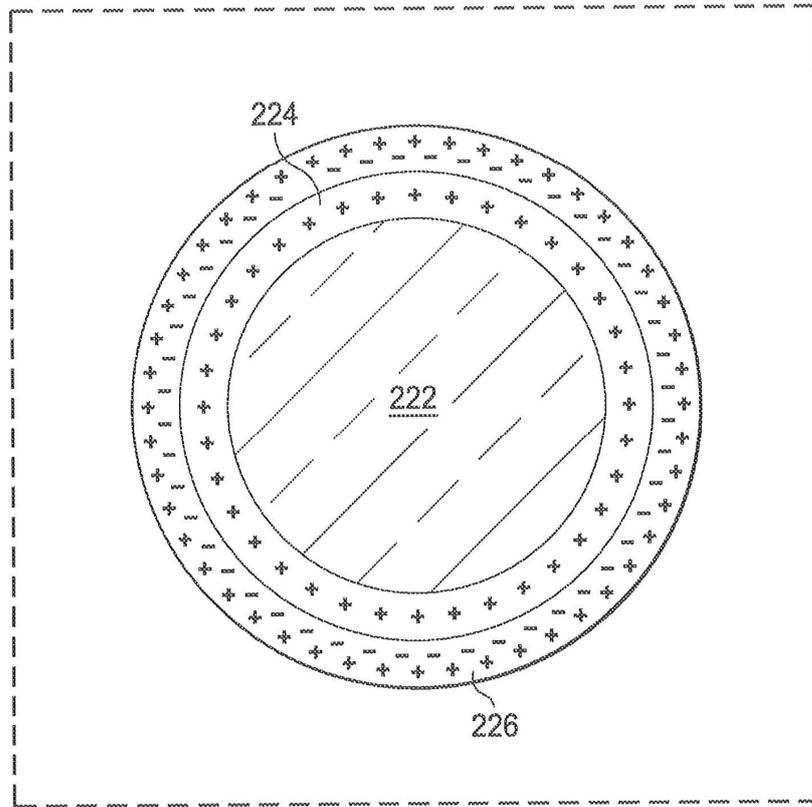


Fig. 10