

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 796**

51 Int. Cl.:

A61B 18/22 (2006.01)

A61F 9/008 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2013 PCT/US2013/077983**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.07.2014 WO14109919**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2013 E 13871053 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2943113**

54 Título: **Sonda láser multipunto con superficie proximal facetada microestructurada**

30 Prioridad:

08.01.2013 US 201313736506

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

25.09.2017

73 Titular/es:

NOVARTIS AG (100.0%)

Lichtstrasse 35

4056 Basel, CH

72 Inventor/es:

SMITH, RONALD T.;

FARLEY, MARK H. y

BOUCH, DUSTIN J.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 633 796 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

Sonda láser multipunto con superficie proximal facetada microestructurada

Antecedentes

Campo técnico

5 Las realizaciones descritas en el presente documento están relacionadas con una sonda láser multipunto que tiene una superficie proximal facetada microestructurada y con métodos para fabricar la misma. En particular, algunas realizaciones descritas en este documento proporcionan una sonda láser multipunto que tiene una superficie proximal facetada microestructurada y una superficie distal microestructurada y un método para fabricar la misma que puede reducir el retorno de una reflectancia interna total a la sonda láser.

10 Técnica relacionada

Las sondas láser pueden suministrar luz a múltiples puntos sobre una diana quirúrgica. Por ejemplo, en el transcurso de una fotocoagulación panretiniana de tejido retiniano, el suministro de luz a múltiples puntos puede reducir el tiempo del procedimiento quirúrgico. En un sistema existente se han empleado varias técnicas para producir múltiples haces para un patrón multipunto. Por ejemplo, una propuesta utiliza elementos difractivos en el extremo distal de la sonda para dividir un haz entrante en múltiples haces.

15 Sin embargo, pueden surgir dificultades con el uso de elementos difractivos en el extremo distal de la sonda. Por ejemplo, los elementos difractivos pueden producir una multitud de órdenes de difracción más altos y, por tanto, un gran número de puntos de haz adicionales superfluos no deseados que irradiarán la retina. Estos puntos adicionales, a pesar de tener intensidades más bajas, pueden tener efectos negativos, tales como calentamiento no deseado de la región diana. Además, un elemento difractivo no se comporta igual en diferentes medios refractivos. Por ejemplo, se puede colocar un elemento difractivo en un medio con un índice de refracción diferente al del aire, y los espacios entre los elementos difractivos pueden llenarse con el medio, lo cual puede afectar al patrón de puntos. Además, la separación entre los puntos puede variar para diferentes longitudes de onda, lo que puede causar problemas si un haz guía y un haz de tratamiento son de diferentes colores. Los elementos difractivos también son frecuentemente costosos y difíciles de producir, especialmente si el elemento difractivo tiene que encajar en una zona pequeña.

20 Algunas sondas láser utilizan una sola fibra para guiar la luz desde una fuente de luz a una lente esférica. La lente esférica puede sumergirse en un adhesivo ópticamente transmisor curado, con múltiples facetas para dividir el haz de luz. Sin embargo, tanto la superficie proximal como la superficie distal del adhesivo curado reflejan hasta un 5 % de la luz incidente de nuevo a la sonda láser, creando problemas relacionados con el sobrecalentamiento tales como la degradación del material del adhesivo.

25 De acuerdo con ello, existe una necesidad de una sonda láser multipunto que (a) pueda proporcionar múltiples puntos en una diana quirúrgica sin sobrecalentar la sonda, (b) no tenga los problemas asociados a elementos difractivos, y (c) que puede fabricarse a un coste aceptable.

35 Los documentos US 2011/141759A1 y US 2007/286548A1 representan el estado de la técnica pertinente.

Sumario

40 La presente invención proporciona una sonda láser multipunto que comprende una superficie proximal facetada microestructurada y métodos para la fabricación de la misma de acuerdo con las reivindicaciones que vienen a continuación. De acuerdo con algunas realizaciones, se proporciona una sonda óptica quirúrgica que incluye una cánula cilíndrica; un conducto de luz dentro de la cánula, configurado para recibir un haz de luz de la fuente de luz, para guiar el haz de luz a un extremo distal del conducto de luz y para emitir el haz de luz al extremo distal del conducto de luz; y un generador multipunto en un extremo distal de la cánula, teniendo el generador multipunto una superficie proximal facetada con facetas oblicuas, configurada para recibir el haz de luz emitido al extremo distal del conducto de luz y para dividir el haz de luz recibido en múltiples componentes de haz, y una superficie distal desde la cual los múltiples componentes de haz salen del generador multipunto, en donde la superficie proximal del generador multipunto está microestructurada con una longitud de modulación menor que una longitud de onda del haz de luz.

50 De acuerdo con algunas realizaciones, un método para fabricar un generador multipunto para una sonda óptica quirúrgica, puede incluir depositar un medio adhesivo ópticamente transmisor sobre la superficie del sustrato con un aplicador; insertar un elemento óptico en el medio adhesivo; colocar un pasador con un extremo distal de facetas oblicuas y microestructurado sobre el medio adhesivo para formar una superficie proximal de facetas oblicuas microestructurada sobre el medio adhesivo, formando así un conjunto de pasador-adhesivo-elemento óptico-sustrato; colocar una cánula sobre el conjunto de pasador-adhesivo-elemento óptico-sustrato para alojar el generador multipunto dentro de la cánula; curar el medio adhesivo; y separar el sustrato y el pasador del generador multipunto alojado dentro de la cánula.

55

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama que ilustra una sonda láser multipunto.

La figura 2 es un diagrama que ilustra un generador multipunto.

5 Las figuras 3A-B son diagramas que ilustran la reflexión de la luz dentro del extremo distal de la sonda láser multipunto.

La figura 4 es un diagrama que ilustra el extremo distal de una sonda láser multipunto con un generador multipunto que tiene una superficie distal microestructurada y una superficie proximal facetada microestructurada.

Las figuras 5A-B son diagramas que ilustran la reflectancia de una superficie microestructurada como un medio eficaz.

10 La figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un sustrato que tiene una superficie microestructurada grabada en una superficie.

Las figuras 7A-F son diagramas que ilustran la formación de un generador multipunto que tiene una superficie proximal facetada microestructurada.

La figura 8 es un diagrama de una sonda óptica quirúrgica con una superficie distal microestructurada.

15 Las figuras 9A-B son organigramas que ilustran un método para fabricar un generador multipunto una superficie distal microestructurada y una superficie proximal facetada microestructurada.

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

Descripción detallada

20 En la siguiente descripción se explican detalles específicos que describen algunas realizaciones. Será evidente, sin embargo, para un experto en la técnica que las realizaciones descritas pueden ponerse en práctica sin algunos o sin 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 describe específicamente en el presente documento, está dentro del ámbito de aplicación de esta descripción.

25 La figura 1 ilustra un ejemplo de una sonda óptica quirúrgica 100 que incluye una cánula cilíndrica 103 y un conducto de luz 108 dentro de la cánula 103, configurado para recibir un haz de luz de la fuente de luz para guiar el haz de luz a un extremo distal del conducto de luz 108 y para emitir el haz de luz a la superficie distal del conducto de luz 108. El conducto de luz 108 puede ser una fibra óptica dispuesta dentro de una férula de acero inoxidable 105. La sonda óptica quirúrgica 100 puede incluir además un generador multipunto 102 alojado dentro de un extremo distal de la cánula 103. El generador multipunto 102 puede tener una superficie proximal facetada 107 con facetas oblicuas, configurada para recibir el haz de luz emitido al extremo distal del conducto de luz 108 y para dividir el haz de luz recibido en múltiples componentes de haz.

30 El uso a lo largo de esta descripción de "proximal" hace referencia a una superficie o región de un objeto más cercano a la fuente de luz a lo largo de una trayectoria del haz de láser, y "distal" se refiere a una superficie o región del objeto más alejado de la fuente de luz, y por tanto más cercano a la diana.

35 De acuerdo con algunas realizaciones, la sonda óptica quirúrgica 100 puede incluir un alojamiento de cánula 101, para quedar en contacto con la cánula 103 y rodear la férula 105. La fibra óptica 108 puede ser cualquier estructura adecuada para transmitir luz. En algunas realizaciones, la fibra óptica 108 puede incluir un núcleo 119, un revestimiento 120 y una envoltura 121. La fibra óptica 108 puede fijarse a la férula 105 con un adhesivo 122. Puede utilizarse una fibra óptica de cualquier tamaño adecuado 108, por ejemplo, el núcleo 119 puede tener un diámetro en el intervalo de 75 a 150 micrómetros. Un diámetro mayor para el núcleo 119 produce generalmente un punto más grande.

40 La cánula 103 puede alojar el generador multipunto 102 y la férula 105 que pueden a su vez acomodar la fibra óptica 108. Tanto la cánula 103 como la férula 105 pueden estar configuradas para encajar entre sí para alinear la fibra óptica 108 y el generador multipunto 102. La "alineación" puede definirse de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, se pueden alinear dos partes si el eje de rotación de una parte coincide sustancialmente con el eje de rotación de la otra parte. Como otro ejemplo, se pueden alinear dos partes si sustancialmente todo el haz de láser transmitido por una parte es recibido por la otra parte.

45 El generador multipunto 102 puede incluir un medio adhesivo ópticamente transmisor curado 104 y una lente esférica 106 dispuesta en el medio adhesivo 104. El medio adhesivo 104 puede tener una superficie proximal facetada 107.

- De acuerdo con algunas realizaciones, la superficie proximal facetada 107 del generador multipunto 102 puede configurarse para dividir el haz de láser incidente en múltiples componentes de haz que pueden producir múltiples puntos de láser en una diana. Tal haz será denominado haz multipunto. En un ejemplo, un haz de láser algo divergente puede ser emitido por la fibra óptica 108. Partes del haz de láser divergente pueden caer sobre las diferentes facetas de la superficie proximal facetada 107. Cada faceta de la superficie proximal facetada 107 puede refractar su parte de haz incidente en una dirección diferente para producir un componente de haz del haz multipunto. Los componentes de haz pueden ser transmitidos y enfocados por la lente esférica 106. Los componentes de haz pueden salir de la sonda láser óptica 100 a través de una superficie distal plana 109 del medio adhesivo 104.
- 5 A medida que el haz es escaneado o desplazado durante la cirugía, la distancia entre el extremo distal de la sonda óptica quirúrgica 100 y la superficie diana puede variar o cambiar. Esta variación puede modificar los diámetros de puntos y las separaciones de puntos, y en general el patrón de puntos, haciéndolo menos regular. Por tanto, el diseño de la superficie proximal facetada 107 y la lente esférica 106 para enfocar el haz multipunto sobre una diana relativamente distante permite minimizar el tamaño de los puntos de haz y la divergencia general del haz multipunto.
- 10 La superficie proximal facetada 107 puede tener cualquier número y forma adecuados de facetas. En algunas realizaciones, la superficie proximal facetada 107 puede tener N facetas oblicuas a la trayectoria de haz que se encuentran en un punto alineado con un centro del haz de láser de la fibra óptica 108 de tal manera que el generador multipunto 102 produce N componentes de haz de características similares, donde N = 3, 4, 5 u otro número entero adecuado. En otras realizaciones, la superficie proximal facetada 107 puede tener una faceta plana central perpendicular a la trayectoria de haz con N facetas circundantes inclinadas de manera oblicua para producir un punto central rodeado por N puntos. Puede utilizarse cualquier ángulo inclinado adecuado entre las facetas. El ángulo óptimo puede determinarse por el índice de refracción del medio adhesivo 104 y puede ser de 20°- 30°, tal como 27°. En general, la disminución del ángulo inclinado puede disminuir la separación entre los puntos. De acuerdo con algunas realizaciones, al menos una faceta está orientada oblicua a la trayectoria de haz, de tal manera que una dirección perpendicular a una faceta en un centro de la faceta no es paralela a la trayectoria de haz del haz de láser.
- 15 La lente esférica 106 puede ser un elemento óptico que refracta un haz incidente o componentes de haz para emerger a la superficie distal 109 del generador multipunto 102 colimada o con un pequeño ángulo de divergencia o convergencia. En algunas realizaciones, la lente esférica 106 puede converger ligeramente en el haz multipunto con el fin de enfocar el patrón de puntos de haz sobre una diana relativamente distante, tal como la retina. De acuerdo con algunas realizaciones, la lente esférica 106 puede ser una bola de zafiro. La lente esférica 106 puede tener una variedad de formas análogas, tales como una esfera, una esfera aproximada, o una parte de una esfera (por ejemplo, un hemisferio). La lente esférica 106 puede comprender cualquier material refractivo.
- 20 En algunas realizaciones, la lente esférica 106 y el medio adhesivo 104 pueden tener diferentes índices de refracción. Para enfocar un haz colimado o convergente, el índice de refracción de la lente esférica 106 debería ser mayor que el del medio adhesivo 104. Por ejemplo, la lente esférica 106 puede ser una lente esférica de zafiro con un índice de refracción visible de aproximadamente 1,76, mientras que el medio adhesivo 104 puede tener un índice de refracción de adhesivo menor en el intervalo de 1,56-1,58.
- 25 En otras realizaciones, la superficie proximal facetada 107 puede ser oblicuamente cóncava. La lente esférica 106 todavía puede converger en los componentes de haz creados por las facetas cóncavas para producir un patrón multipunto.
- 30 La figura 2 es un diagrama que ilustra el generador multipunto 102, de acuerdo con algunas realizaciones. Como se muestra en la figura 2, el generador multipunto 102 puede incluir la lente esférica 106 encerrada en el medio adhesivo 104, en donde el medio adhesivo 104 puede tener la superficie proximal facetada 107. De acuerdo con algunas realizaciones, el medio adhesivo 104 puede tener un índice de refracción en el intervalo de 1,5-1,6, o en algunos casos de 1,56-1,58. El medio adhesivo 104 puede ser curado con luz ultravioleta para proporcionar estabilidad mecánica y de material y control dimensional preciso. La superficie proximal facetada 107 puede ser oblicuamente convexa con un grado de inclinación de 20° - 30°, tal como 27°. De acuerdo con algunas realizaciones, el generador multipunto 102 puede formarse encapsulando la lente esférica 106 en el medio adhesivo 104 y luego formando la superficie proximal facetada 107 en un extremo proximal del medio adhesivo 104.
- 35 Las figuras 3A-B ilustran, como se ha explicado anteriormente, que en algunos generadores multipunto existentes 102, la reflectancia de Fresnel de la luz de láser fuera de la superficie proximal 107 y la superficie distal 109 del medio adhesivo 104 puede reflejar una parte sustancial de la luz de láser de nuevo a la sonda óptica quirúrgica 100, haciendo que la punta de sonda se caliente de manera no ventajosa. Como se muestra en la figura 3A, la luz emitida desde el extremo distal del conducto de luz 108 puede someterse a una reflexión de Fresnel en la superficie proximal 107 del medio adhesivo 104, generando un haz reflejado 300. En algunos casos, la intensidad del haz reflejado 300 puede llegar hasta aproximadamente el 5 % de la luz que irradia la superficie proximal facetada 107. El haz reflejado 300 puede incidir después parcialmente sobre superficies interiores 302 de la cánula 103, en donde aproximadamente entre 30 y 40 % de su potencia puede ser reflejada de nuevo, posiblemente siendo redirigida a la
- 40
- 45
- 50
- 55

férula 105 y al conducto de luz 108 y entre 60 y 70 % de la potencia del haz puede ser absorbida por las superficies interiores 302 de la cánula 103.

La figura 3B ilustra que la luz que se desplaza a través de la superficie proximal facetada 107 no reflejada puede someterse a una reflexión de Fresnel en una superficie plana distal 109 de la sonda óptica quirúrgica 100 y generar un haz reflejado 304 que se transmite de nuevo a la sonda óptica quirúrgica 100. De nuevo, el haz reflejado 304 puede ser absorbido por las superficies interiores 302 de la cánula 103 y la férula 105. En algunos casos, la intensidad del haz reflejado 304 puede llegar hasta el 5 % de la intensidad de la luz que se desplaza a través de la lente esférica 106. En consecuencia, haces reflejados 300 y 304 juntos pueden hacer que hasta aproximadamente el 10 % de la luz de láser incidente emitida por la fibra óptica o conducto de luz 108 sea reflejada de nuevo en la punta de la sonda óptica quirúrgica 100, aumentando su temperatura.

La temperatura elevada puede reducir el rendimiento de la sonda óptica quirúrgica 100 de varias maneras. Por ejemplo, en algunos casos, la temperatura del medio adhesivo 104 puede elevarse hasta el punto en el que se vuelve fluida, dejando que la lente esférica 106 se suelte y se mueva o gire lejos de su posición y orientación óptimas. En el peor de los casos, la lente esférica 106 puede incluso caerse desde la cánula 103, posiblemente hacia el interior del ojo, un resultado altamente no deseado. En algunos otros casos, el material del medio adhesivo 104 puede degradarse térmicamente y volverse menos transparente, o tener su rendimiento óptico reducido de alguna otra manera.

Una mejora podría ser depositar o formar un revestimiento antirreflexión (AR) sobre la superficie proximal 107. Además, se pueden conseguir otras mejoras depositando un revestimiento antirreflexión (AR) también sobre la superficie distal 109. El revestimiento AR puede hacerse de una o más capas dieléctricas que tengan índices de refracción, espesores y características de superficie bien definidos para suprimir la reflectancia de Fresnel en las superficies proximal y distal del medio adhesivo y por tanto la intensidad de los haces reflejados 300 y 304. Sin embargo, formar y depositar el revestimiento dieléctrico AR sobre el medio adhesivo 104 requiere una alta temperatura de deposición que puede deformar el medio adhesivo 104 o cambiar sus propiedades ópticas. Además, las incompatibilidades de material entre el revestimiento AR y el medio adhesivo 104 pueden hacer que sea difícil que el revestimiento AR se adhiera al medio adhesivo 104. Por todas estas razones, los diseños que utilizan revestimiento AR para reducir el calentamiento tienen inconvenientes sustanciales.

La figura 4 es un diagrama que ilustra una sonda óptica quirúrgica 400 con un generador multipunto 402 que reduce el calentamiento y los efectos térmicos sin una capa de revestimiento AR depositada, evitando así los problemas previamente descritos. La sonda óptica quirúrgica 400 puede incluir elementos análogos a los de la sonda óptica quirúrgica 100, incluyendo el alojamiento de cánula 101, la cánula 103, la férula 105, la lente esférica 106 y el conducto de luz o fibra 108. El alojamiento de cánula 101 puede encerrarse mediante una pieza de mano, configurada para ser sostenida manualmente por un cirujano que lleva a cabo la operación. La pieza de mano puede ser una estructura cilíndrica de plástico o de metal, que rodea el alojamiento de cánula 101.

Además, la sonda óptica quirúrgica 400 puede incluir el generador multipunto 402 con una superficie proximal facetada microestructurada 407 de un medio adhesivo ópticamente transmisor 404. Las facetas de la superficie proximal facetada microestructurada 407 pueden todavía configurarse para refractar partes de la luz incidente emitida desde la fibra óptica 108 en diferentes direcciones para generar componentes de haz de un haz multipunto. La lente esférica 106 puede transmitir los componentes de haz para emitirlos como el haz multipunto a través de la superficie distal microestructurada 409 del medio adhesivo 404.

De acuerdo con algunas realizaciones, la superficie proximal facetada microestructurada 407 puede tener una estructura de ojo de polilla para reducir la reflexión del haz de láser incidente. Una estructura de ojo de una polilla se llama así porque se asemeja a las pequeñas ondulaciones o protuberancias superficiales en relieve que se encuentran en una superficie de un ojo de una polilla o mosca. Esta estructura del ojo reduce la reflexión de la luz de la superficie del ojo, haciéndolo más difícil para los depredadores cazar la polilla.

De acuerdo con algunas realizaciones, las ondulaciones o protuberancias de la superficie microestructurada 407 pueden ser menores que un múltiplo de la longitud de onda de la luz entrante para reducir la reflexión de la luz. El múltiplo puede ser 3,1 o 0,3. Expresado de manera diferente, una longitud de modulación de la superficie proximal facetada microestructurada 407 puede ser menor de 3,1 o 0,3 veces la longitud de onda de la luz entrante. Dicho aún de otro modo, las microestructuras de la superficie microestructurada 407 pueden tener una separación media inferior a 3,1 o 0,3 veces la longitud de onda del haz de luz o de láser. Se observa que las propiedades antirreflectantes de la superficie microestructurada 407 mejoran con la disminución de la longitud de modulación y la disminución del tamaño de las ondulaciones y las protuberancias. Es decir, cuanto más pequeño sea el múltiplo mencionado, más pequeña será la parte reflejada de la luz entrante.

La figura 4 también muestra, de manera análoga que, en algunas realizaciones, la superficie distal 409 del medio adhesivo 404 puede ser microestructurada. El tamaño medio característico o longitud de modulación de la superficie distal microestructurada 409 puede ser de nuevo menor de 3, 1 o 0,3 veces la longitud de onda de la luz, de manera similar a la superficie proximal microestructurada 407.

Las figuras 5A-B ilustran cómo las microestructuras o microcaracterísticas de la superficie microestructurada 407 reducen la reflectancia de la superficie proximal facetada 407. La ilustración se refiere a un medio óptico genérico 500 que puede ser el medio adhesivo 404 y a una superficie microestructurada genérica 502 que puede ser bien la superficie proximal facetada microestructurada 407 o bien la superficie distal microestructurada 409.

- 5 Como es bien sabido por la teoría de propagación de ondas electromagnéticas, cuando el tamaño medio de protuberancias individuales de la superficie microestructurada 502 es similar o mayor que λ , la longitud de onda de la luz incidente, por tanto la luz que pasa a través de la superficie 502 bien se difracta en múltiples direcciones discretas si la microestructura se repite periódicamente, o bien sale de la superficie de una manera difusa, distribuida continuamente a todos los ángulos espaciales si la microestructura se distribuye aleatoriamente.
- 10 Por otra parte, cuando el tamaño medio de las protuberancias o la escala de la modulación son pequeños en comparación con la longitud de onda λ de la luz incidente, entonces la luz "promedia" la microestructura de la superficie 502 y sólo experimenta "atravesar" la superficie 502 como si atravesara un medio efectivo 504 o anchura t_{eff} , el tamaño típico de las protuberancias o microcaracterísticas de la superficie microestructurada 502. Se puede pensar que el medio efectivo 504 es como una placa eficazmente homogénea con un índice de refracción efectivo n_{eff} que es un promedio ponderado de un índice de refracción n_{med} del medio 500 y un índice de refracción n_{ambiente} del medio ambiente. Si el lado externo de la superficie microestructurada 502 está rodeado por aire, entonces $n_{\text{ambiente}} = n_{\text{aire}}$. Si en el lado externo de la superficie microestructurada 502 el medio ambiente no es aire, sino, por ejemplo, el de una capa protectora, un sustrato transparente, un material de relleno o un material diámano ópticamente refractivo o un material biológico, entonces n_{ambiente} es el índice de refracción de ese material o medio ambiente. El tipo de ponderación de la media para n_{eff} puede depender de cómo y hasta qué grado las protuberancias llenan el volumen de la superficie microestructurada 502, dependiendo de las formas de las protuberancias de la superficie microestructurada 502. La microestructura puede incluir protuberancias, conos, prismas, pirámides, ranuras, canales, surcos y un patrón en relieve, cada uno definiendo su propio promedio de refracción medio.

- 25 El diseño de la superficie microestructurada 502 puede incluir la selección de un espesor efectivo específico t_{eff} y de un tipo o forma de las microestructuras o microcaracterísticas, tales como protuberancias, pirámides, ranuras u otros tipos. Estas elecciones de diseño determinan el índice de refracción efectivo n_{eff} de la superficie microestructurada 502. Si los parámetros efectivos y su combinación, la longitud de trayectoria óptica t_{eff}^* cumplen la condición para la interferencia destructiva: $n_{\text{eff}}^* t_{\text{eff}} = \lambda / 4$, entonces la superficie microestructurada 502 puede mostrar propiedades antirreflejtantes similares a un revestimiento AR tradicional. Realizaciones de la superficie microestructurada 502 pueden fabricarse para tener un t_{eff} y mostrar un n_{eff} que combinen para una transmitancia de luz altamente eficaz en la interfaz del medio óptico 500 y aire / ambiente. Realizaciones específicas pueden alcanzar una transmitancia por encima del 99 %, en algunos casos superior al 99,5 %, y una reflectancia de Fresnel inferior al 1 %, en algunos casos inferior al 0,5 %. Una de estas realizaciones se muestra en la figura 5B.

- 35 La figura 6 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una superficie microestructurada 600 de acuerdo con algunas realizaciones. La superficie microestructurada 600, a veces también denominada estructura o superficie en relieve con microcaracterísticas, puede tener protuberancias 602 y depresiones 604. En otras realizaciones, la superficie microestructurada 600 puede tener conos, prismas, pirámides, ranuras, canales, surcos y un patrón en relieve. En algunos casos, la superficie microestructurada 600 puede tener una estructura de ojo de polilla. La superficie microestructurada 600 puede corresponder a la superficie proximal facetada microestructurada 407, a la superficie distal microestructurada 409, a una superficie microestructurada grabada sobre un sustrato o a una superficie microestructurada grabada sobre una herramienta o pasador, utilizada para crear la superficie proximal facetada microestructurada 407 en el medio adhesivo 404.

- 45 Además, de acuerdo con algunas realizaciones, una distancia típica o media entre las protuberancias 602 puede ser menor que 3,1 o 0,3 veces la longitud de onda λ de la luz utilizada en la sonda óptica quirúrgica 400. Como se ha descrito anteriormente, una superficie sin tal microestructura puede tener una reflectancia de hasta el 5 %, mientras que la microestructura de superficie 600 puede reducir la reflectancia por debajo del 1 %, en algunos casos por debajo del 0,5 %, proporcionando una reducción muy valiosa de diez veces en las propiedades de reflectancia para la gestión del calor térmico.

- 50 La utilidad de esta ganancia se puede apreciar al considerar que en algunas sondas ópticas quirúrgicas 400 la fuente de luz puede acoplar aproximadamente 1000 mW de potencia a través de la fibra óptica 108 en la sonda quirúrgica 400. Sin las superficies microestructuradas aquí descritas, hasta el 5 %, o 50mW pueden reflejarse de nuevo en la sonda quirúrgica 400. En algunos casos representativos, el diámetro interno de la cánula 103 puede ser de aproximadamente 0,4 mm y la distancia entre la superficie proximal facetada 107 y el extremo del conducto de luz 108 puede ser de aproximadamente 0,4 mm. Por consiguiente, el área de las superficies interiores cilíndricas 302 en las que se reflejan los haces de luz reflejados 300 y 304 es de aproximadamente $0,05 \text{ mm}^2$, dando lugar a una densidad de potencia reflejada de aproximadamente $10^4 \text{ W} / \text{m}^2$, lo que demuestra la seriedad e importancia del problema de gestionar y reducir el flujo de calor o flujo.

- 60 El calor reflejado desde la superficie proximal facetada 407 o la superficie distal 409 puede reducirse en un factor de 5, posiblemente de hasta 10, haciendo la superficie correspondiente microestructurada. Esta reducción de diez veces del flujo de calor mejora la gestión térmica y de calor de la sonda óptica quirúrgica 400 de manera ventajosa.

Esta reducción de calor puede reducir sustancialmente la probabilidad de degradación térmica del medio adhesivo 404 y la posible suelta e incluso liberación de la lente esférica 106.

5 Las figuras 7A-F son diagramas que ilustran un método de fabricación y formación de la sonda óptica 400 que tiene el generador multipunto 402 con la superficie proximal facetada microestructurada 407, de acuerdo con algunas realizaciones. Las etapas del método se señalan también con referencia a los organigramas de las figuras 9A - B.

La figura 7A muestra que el proceso puede iniciarse en la etapa (910), colocando la lente esférica 106 sobre un sustrato 702. El sustrato puede ser, por ejemplo, un sustrato de cuarzo o de otro material no adherente.

10 La figura 7B muestra que en la etapa siguiente (920) el medio adhesivo 404 puede introducirse o depositarse para rodear y encerrar la lente esférica 106. El medio adhesivo 404 puede ser fluido a temperatura ambiente. En algunos otros casos, puede hacerse fluido para la deposición usando una temperatura elevada o un diluyente o disolvente.

15 Las figuras 7A'-B' ilustran que las etapas 910 y 920 pueden realizarse en el orden opuesto: en primer lugar (910'), el medio adhesivo 404 puede depositarse sobre el sustrato 702 y luego (920') insertar o disponer la lente esférica 106 en el medio adhesivo 404. Esta secuencia de etapas puede tener las siguientes ventajas: (a) es más probable que la superficie distal microestructurada 409 se convierta en una superficie continua del medio adhesivo 404, no interrumpida por una punta sobresaliente de la lente esférica 106, y (b) el montaje puede ser más fácil, como cuando la lente esférica 106 se coloca sobre el sustrato 702 en primer lugar, por motivos electrostáticos u otros, puede rodar o saltar alrededor, dificultando el procesamiento de precisión. El depósito de la lente esférica 106 en el medio adhesivo 404 evita tales movimientos. Por tanto, la secuencia 920-910 puede ofrecer mejoras con respecto a los dos desafíos anteriores.

20 La figura 7C muestra cómo, después en la etapa (930), el pasador 704 puede ponerse en contacto con el medio adhesivo 404. Un extremo distal 710 del pasador 704 puede configurarse como un negativo de las facetas oblicuas destinadas a la superficie proximal facetada 407 del generador multipunto 402. Por tanto, cuando el pasador 704 se coloca en contacto con o se presiona sobre el medio adhesivo 404 en su estado fluido, la superficie proximal 407 del medio adhesivo 404 adopta la forma de facetas oblicuas descrita anteriormente. Además, el extremo distal facetado del pasador 704 también puede incluir una superficie microestructurada 710. En la impresión con el pasador, esta superficie de pasador microestructurada 710 proporcionará a la superficie proximal facetada 407 la microestructura deseada.

25 La figura 7D ilustra que en la etapa (940), la cánula 103 puede colocarse sobre una estructura de pasador 704 - medio adhesivo 404 - lente esférica 106 para definir el generador multipunto 402. La cánula 103 puede ser guiada a su lugar por una guía o eje 706.

La figura 7C' y la figura 7D' ilustran que las etapas 930 y 940 pueden realizarse también en el orden opuesto, colocando primero la cánula 103 sobre el medio adhesivo 404 y luego colocando el pasador 704 sobre el medio adhesivo 404.

35 La secuencia de etapas (930) - (940) permite colocar el pasador 704 exactamente a la altura deseada, ya que permite que el exceso de adhesivo 705 fluya o se deforme hacia fuera. En algunos casos, la posterior colocación de la cánula 103 puede deformar hasta cierto punto el borde y el lado superior del adhesivo 404.

40 Al realizarse las etapas en la secuencia inversa (940) - (930), el borde superior del medio adhesivo se llena al colocar posteriormente el pasador 704 y así se queda bien definido. Al mismo tiempo, el pasador 704 no puede expulsar más adhesivo 404 de la cánula 103, y por tanto la altura del generador multipunto 402 puede controlarse sólo hasta el punto en el que pueda ser controlada la cantidad de adhesivo.

45 La figura 7E ilustra que después de que se hayan realizado las etapas 930 y 940 en cualquier orden, en la etapa (950), el medio adhesivo 404 puede curarse. El curado puede tener lugar mediante la irradiación del medio adhesivo 404 con luz ultravioleta UV o luz azul 708 a través de la superficie distal del sustrato 702 cuando el sustrato 702 es transparente. El curado del adhesivo puede hacer que la integridad mecánica y estructural del generador multipunto 402 sea más sólida y bien controlada.

La figura 7F muestra que una vez curado el medio adhesivo 404, en la etapa (960), se pueden retirar el pasador 704 y la guía 706 en un extremo y el sustrato 702 en el extremo opuesto para completar la sonda óptica quirúrgica 400.

50 A continuación, se describen varios métodos para la fabricación de la superficie microestructurada 710 del pasador 704. Un método es mediante grabado por haz de electrones del pasador 704 hecho de acero endurecido, en el que las microcaracterísticas individuales tales como protuberancias, pirámides, ranuras y similares de la superficie microestructurada 710 se forman individualmente y de manera secuencial en un proceso de tipo escaneo. En otras realizaciones, el pasador 704 se puede fabricar de otro tipo de materiales duros, tales como diferentes metales, incluyendo acero, cuarzo, o incluso comprendiendo una cabeza de diamante. Este proceso de grabado por haz de electrones puede producir una superficie microestructurada bien articulada 710 en el extremo distal del pasador 704.

55 Sin embargo, este método directo de grabado por haz de electrones, aunque produce pasadores de alta calidad,

puede resultar costoso y lento ya que las máquinas de grabado por haz de electrones son caras y funcionan en un modo de escaneo.

5 Por otra parte, ya que el pasador 704 está formado de un material duro y por tanto costoso, factores económicos están a favor de reutilizar el pasador 704 un gran número de veces. Puesto que el pasador 704 está hecho de un material duro, es de hecho físicamente posible volver a usarlo varias veces. Sin embargo, cada vez que el pasador 704 es reutilizado, una pequeña cantidad de material de medio adhesivo residual puede quedar pegada en las hendiduras, depresiones y surcos de la superficie microestructurada 710. Con cada uso, estos depósitos residuales van llenando cada vez más las hendiduras y depresiones de la superficie microestructurada 710, reduciéndose el número de veces que puede ser reutilizado el pasador 704 de material duro y costoso. También es posible retirar periódicamente residuos de las hendiduras y depresiones 604 mediante limpieza, ralentizándose así la velocidad de acumulación de residuos. En algunos casos, la limpieza puede devolver la superficie microestructurada sustancialmente a su estado original.

15 Al menos debido a los problemas recién enumerados relacionados con el coste, la velocidad y el número de reutilizaciones, puede utilizarse también otro método para fabricar la superficie microestructurada 710 del pasador 704. Este método implica crear una herramienta intermedia, tal como una herramienta maestra hecha de un material adecuadamente duro, tal como diamante o acero endurecido, y luego grabar por haz de electrones una superficie microestructurada sobre la superficie extrema de la herramienta maestra. A continuación, se puede crear un gran número de pasadores "lisos" 704 de un material con una dureza que está entre la de la herramienta maestra y el medio adhesivo 404, tal como un plástico moldeado o fluido. La herramienta maestra puede utilizarse para imprimir toda la superficie microestructurada 710 sobre los pasadores lisos 704 durante una única etapa de impresión en lugar del grabado secuencial por haz de electrones, creándose así simultáneamente las microcaracterísticas individuales de la superficie microestructurada 710, en paralelo.

25 La herramienta maestra puede tener una pirámide u otra forma facetada trabajada a máquina en su extremo. Puesto que el pasador 704 tiene el negativo o inverso de la superficie proximal facetada 407, la herramienta maestra puede adoptar la forma positiva, no invertida de la superficie proximal facetada deseada 407. La impresión del pasador 704 con el extremo microestructurado y facetado positivo de la herramienta maestra crea la superficie negativa microestructurada 710 del pasador. Puesto que el pasador 704 es más duro que el medio adhesivo 404, el pasador 704 puede utilizarse para imprimir la superficie proximal microestructurada 407 en el material adhesivo 404 de muchos generadores multipunto 402.

30 Por tanto, un solo uso de la herramienta maestra grabada por haz de electrones más costosa puede derivar en la creación de un gran número de sondas ópticas 400 con superficies microestructuradas 407, repartiendo así el coste del grabado por haz de electrones de una superficie microestructurada en una mayor cantidad de sondas ópticas 400.

35 Otro método basado en una herramienta intermedia puede formar la superficie microestructurada 710 del pasador 704 mediante moldeo por inyección. Aquí, una herramienta de moldeo microestructurada puede desempeñar un papel similar al de la herramienta maestra, comprendiendo una característica de molde en forma de pirámide con la superficie microestructurada grabada por haz de electrones en la misma. Esta herramienta de moldeo intermedia puede entonces usarse repetidamente para crear un gran número de pasadores 704 con superficies microestructuradas 710. Ambos procesos de herramienta intermedia permiten la fabricación de un gran número de generadores multipunto 402 con el solo uso de una de las costosas herramientas maestra o de moldeo directamente grabadas por haz de electrones. Por tanto, la velocidad de acumulación de residuo en la costosa superficie microestructurada grabada por haz de electrones por sonda óptica quirúrgica 400 se ralentiza, ampliándose el número efectivo de usos de las herramientas intermedias y mejorándose así la economía del proceso de fabricación.

45 Algunos métodos de herramienta intermedia pueden aumentar el número de sondas ópticas quirúrgicas fabricadas con una única herramienta grabada por haz de electrones (antes de que la acumulación de residuo disminuya la calidad de la superficie microestructurada fabricada por debajo de un umbral preestablecido) en un factor de más de 10, 100 o 1.000.

50 Expresado de otra manera, en el primer sistema de impresión directa que no utiliza herramientas intermedias, el número de herramientas directamente grabadas por haz de electrones que se necesitan para fabricar el mismo número de generadores multipunto 402 puede ser sustancialmente mayor que en métodos de herramienta intermedia, aumentando así el coste de fabricación.

55 La eficacia de todos los métodos anteriores puede ser mejorada formando una capa de desmoldeo sobre la superficie grabada por haz de electrones del mismo pasador 704 en el método directo o sobre la superficie grabada por haz de electrones de la herramienta maestra o la herramienta de moldeo en los correspondientes métodos de herramienta intermedia. La capa de desmoldeo puede ser tan delgada como un solo átomo o capas de pocos átomos. Su composición química puede ser escogida de manera que no "humedezca" la superficie microestructurada o, dicho de otro modo, que no se adhiera a la misma. La introducción de tal capa de desmoldeo puede reducir aún más la acumulación de residuos en la superficie grabada por haz de electrones microestructurada en un grado considerable.

- La figura 8 ilustra que, en algunas realizaciones, también se puede formar una superficie microestructurada sobre la superficie distal 409 del generador multipunto 402. La implementación de tales superficies microestructuradas en ambos extremos del generador multipunto 402 puede reducir toda la luz reflejada de manera muy eficiente. Como se describe anteriormente, la implementación de una superficie microestructurada sobre la superficie proximal 407 o sobre la superficie distal 409 del generador multipunto 402 puede reducir la reflectividad de la superficie de un valor de hasta un 5 % hasta por debajo de 0,5 %.
- De acuerdo con algunas realizaciones, un sustrato 702 puede ser una placa de cuarzo que tiene una superficie microestructurada grabada en una superficie proximal de la misma, por ejemplo, mediante grabado por haz de electrones. La superficie microestructurada puede tener protuberancias 602 y depresiones 604. Estas microcaracterísticas se pueden separar una distancia típica que es inferior a 3, 1 o 0,3 veces la longitud de onda λ de la luz utilizada por la sonda óptica quirúrgica 400.
- De acuerdo con algunas realizaciones, la superficie microestructurada del sustrato 702 puede formarse directamente mediante grabado por haz de electrones o usando una herramienta intermedia que en sí misma fue formada mediante grabado por haz de electrones. La herramienta intermedia puede ser una herramienta de impresión o una herramienta maestra, similar a las herramientas intermedias antes descritas. Si el sustrato 702 es más duro, tal como cuarzo, entonces la herramienta de impresión puede ser también más dura, tal como acero endurecido. Con el uso de tales herramientas intermedias se puede mejorar de nuevo la economía del proceso de fabricación debido a la reutilización de la superficie grabada de manera costosa.
- La superficie microestructurada del sustrato 702 se utiliza durante la etapa 920, ilustrada en la figura 7B, cuando el adhesivo 404 se deposita sobre el sustrato 702. Debido a su maleabilidad, el medio adhesivo 404 formará la superficie distal 409 con la microestructura deseada. La etapa de curado 950, ilustrada en la figura 7E, solidifica a continuación la superficie distal microestructurada 409.
- Al igual que anteriormente, el sustrato 702 con la superficie microestructurada puede ser reutilizado en varias ocasiones para formar un gran número de superficies distales 409 del generador multipunto 402. Esta reutilización es otra mejora de la economía del proceso de fabricación.
- Al igual que anteriormente, para facilitar la reutilización del sustrato microestructurado y la herramienta intermedia microestructurada, de acuerdo con algunas realizaciones, puede formarse una capa de desmoldeo sobre la superficie microestructurada del sustrato o de la herramienta. Esta capa de desmoldeo reduce la cantidad de residuo que queda después de cada proceso de impresión.
- La figura 9A es un organigrama que ilustra un método para fabricar un generador multipunto, de acuerdo con algunas realizaciones. Con fines de ilustración, la figura 9A se puede describir con referencia a cualquiera de las figuras 1-8.
- La etapa 910 puede incluir la colocación de un elemento óptico tal como la lente esférica 106 sobre un sustrato 702. El sustrato puede ser, por ejemplo, un sustrato de cuarzo u otro material no adherente.
- La etapa 920 puede incluir la introducción del medio adhesivo 404 para rodear y encerrar la lente esférica 106. El medio adhesivo 404 puede hacerse fluido para la deposición usando una temperatura elevada o un diluyente o disolvente. O puede ser ya fluido o viscoso a temperatura ambiente. El índice de refracción del adhesivo puede estar en el intervalo de 1,5-1,6, en algunos casos en el intervalo de 1,56-1,58.
- La figura 9B ilustra que las etapas 910 y 920 se pueden realizar en orden inverso, primero (910') introducir el adhesivo 404 y luego (920') insertar el elemento óptico 106 en el adhesivo óptico 404. Esta secuencia puede formar una superficie distal de mayor calidad para la sonda óptica quirúrgica 400 y puede reducir o eliminar un movimiento o rodadura incontrolado de la lente esférica 106 durante la fabricación, como se ha expuesto en relación a las figuras. 7A'-B'.
- La etapa 930 puede incluir presionar o colocar el pasador 704 sobre el medio adhesivo 404. Un extremo distal 710 del pasador 704 puede configurarse como un negativo de las facetas oblicuas destinadas a la superficie proximal facetada 407 del generador multipunto 402. Por tanto, cuando el pasador 704 se pone en contacto con o se presiona sobre el medio adhesivo fluido 404, la superficie proximal 407 del medio adhesivo 404 adopta la forma de facetas oblicuas descrita anteriormente.
- Además, el extremo distal facetado del pasador 704 también puede incluir la superficie microestructurada 710. En la impresión con el pasador, esta superficie de pasador microestructurada 710 proporcionará a la superficie proximal facetada 407 la microestructura deseada. Una longitud de modulación de la superficie microestructurada puede ser menor de 3, 1 o 0,3 veces la longitud de onda λ del haz de láser utilizado por la sonda óptica quirúrgica. La superficie microestructurada 710 puede incluir una capa de desmoldeo para reducir la cantidad de residuo de la superficie adhesiva que se adhiere a las microcaracterísticas de la superficie microestructurada. Cuanto menor sea el residuo que se adhiere a la superficie microestructurada 710, más podrá reutilizarse el pasador 704.

La etapa 940 puede incluir presionar o colocar la cánula 103 sobre la estructura de pasador 704 - medio adhesivo 404 - lente esférica 106 - sustrato 702 para alojar el generador multipunto 402. La cánula 103 puede ser guiada a su lugar por una guía o eje 706.

5 Las etapas 930 y 940 se pueden realizar también en el orden opuesto (940) - (930), presionando o colocando primero la cánula 103 sobre el medio adhesivo 404 y luego presionando o colocando el pasador 704 sobre el medio adhesivo 404. Ambos órdenes tienen ventajas y desventajas, como se ha descrito anteriormente.

10 La etapa 950 puede incluir curar el medio adhesivo 404. El curado puede tener lugar irradiando el medio adhesivo 404 con luz ultravioleta UV o luz azul 708 a través de la superficie distal del sustrato 702 cuando el sustrato 702 es transparente. El curado del adhesivo puede hacer que la integridad mecánica y estructural del generador multipunto 402 sea más sólida y bien controlada.

La etapa 960 puede incluir separar el pasador 704 y la guía 706 en un extremo y el sustrato 702 en el extremo opuesto para completar la sonda óptica quirúrgica 400.

15 Las realizaciones descritas en el presente documento pueden proporcionar una sonda láser multipunto que tiene una superficie distal microestructurada y un elemento óptico facetado microestructurado y un método para fabricar la misma que puede reducir una reflectancia interna dentro de la sonda láser. Los ejemplos proporcionados anteriormente son sólo ilustrativos y no pretenden ser limitativos. Un experto en la técnica puede diseñar fácilmente otros sistemas de acuerdo con las realizaciones descritas que se pretende que estén dentro del ámbito de aplicación de esta descripción. Como tal, la solicitud está limitada únicamente por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sonda quirúrgica óptica que comprende:
 - una cánula cilíndrica (103);
 - 5 un conducto de luz (108) dentro de la cánula, el conducto de luz configurado para recibir un haz de luz de una fuente de luz, para guiar el haz de luz hacia un extremo distal del conducto de luz y para emitir el haz de luz al extremo distal del conducto de luz; y
 - un generador multipunto (402) dentro de la cánula en un extremo distal de la cánula, teniendo el generador multipunto una superficie proximal facetada (407) con facetas oblicuas, configurada para recibir el haz de luz emitido al extremo distal del conducto de luz y para dividir el haz de luz recibido en múltiples componentes de haz, y
 - 10 una superficie distal (409) a través de la cual los múltiples componentes de haz salen del generador multipunto, caracterizada por que la superficie proximal del generador multipunto está microestructurada con una longitud de modulación menor que una longitud de onda del haz de luz.
2. Sonda según la reivindicación 1, comprendiendo la superficie proximal del generador multipunto:
 - microestructuras, con una separación media menor que la longitud de onda del haz de luz.
- 15 3. Sonda según la reivindicación 2, comprendiendo las microestructuras al menos uno de:
 - protuberancias, conos, prismas, pirámides, ranuras, canales, surcos y un patrón en relieve.
4. Sonda según la reivindicación 1, en la que:
 - la superficie proximal del generador multipunto tiene una estructura de ojo de polilla.
5. Sonda según la reivindicación 1, en la que:
 - 20 la superficie proximal del generador multipunto está microestructurada para tener un índice efectivo de refracción que reduzca una reflexión del haz de luz mediante la superficie proximal del generador multipunto por debajo del 1 %.
6. Sonda según la reivindicación 1, comprendiendo el generador multipunto:
 - 25 un medio adhesivo curado (404) en un extremo distal de la cánula, estando formada la superficie proximal microestructurada en una superficie proximal del medio adhesivo; y
 - una lente esférica (106), dispuesta en el medio adhesivo curado.
7. Sonda según la reivindicación 6, comprendiendo la lente esférica:
 - una lente esférica de zafiro.
8. Sonda según la reivindicación 1, comprendiendo el generador multipunto:
 - 30 una superficie distal, microestructurada con una longitud de modulación menor que la longitud de onda del haz de luz; y
 - la superficie proximal y la superficie distal del generador multipunto están microestructuradas para tener índices de refracción eficaces que reduzcan una reflexión total del haz de luz mediante el generador multipunto hasta por debajo del 1 %.
- 35 9. Método para fabricar un generador multipunto para una sonda óptica quirúrgica, comprendiendo el método:
 - depositar un medio adhesivo ópticamente transmisor (404) sobre una superficie de un sustrato (702) con un aplicador;
 - insertar un elemento óptico (106) en el medio adhesivo;
 - 40 colocar un pasador (704) con un extremo distal de facetas oblicuas y microestructurado (710) sobre el medio adhesivo para formar una superficie proximal de facetas oblicuas microestructurada sobre el medio adhesivo, formando así un conjunto de pasador-adhesivo-elemento óptico-sustrato;
 - colocar una cánula (103) sobre el conjunto de pasador-adhesivo-elemento óptico-sustrato para alojar el generador multipunto dentro de la cánula;

curar el medio adhesivo; y

separar el sustrato y el pasador del generador multipunto alojado dentro de la cánula.

10. Método según la reivindicación 9, que comprende:

microestructurar el extremo distal del pasador con grabado por haz de electrones.

5 11. Método según la reivindicación 9, que comprende:

microestructurar el extremo distal del pasador mediante indentación del extremo distal del pasador con una herramienta maestra microestructurada y facetada.

12. Método según la reivindicación 11, en el que:

la herramienta maestra comprende un material más duro que un material del pasador; y

10 la herramienta maestra es microestructurada con grabado por haz de electrones.

13. Método según la reivindicación 9, que comprende:

microestructurar la superficie distal del pasador mediante moldeo por inyección con una herramienta de moldeo microestructurada y facetada.

14. Método según la reivindicación 9, que comprende:

15 depositar una capa de desmoldeo sobre la superficie distal del pasador.

15. Método según la reivindicación 9, en el que:

la superficie proximal microestructurada tiene una longitud de modulación más corta que la longitud de onda de un haz de luz funcional de la sonda óptica quirúrgica.

16. Método según la reivindicación 15, en el que:

20 la superficie proximal microestructurada comprende al menos uno de

protuberancias, conos, prismas, pirámides, ranuras, canales, surcos, un patrón en relieve y una estructura de ojo de polilla.

17. Método según la reivindicación 9, comprendiendo la formación:

25 formar la superficie proximal de facetas oblicuas microestructurada con una microestructura para tener un índice efectivo de refracción que reduzca una reflexión del haz de luz mediante la superficie proximal por debajo del 1 %.

18. Método según la reivindicación 9, en el que:

una colocación del elemento óptico sobre el sustrato precede a la deposición del medio adhesivo sobre la superficie.

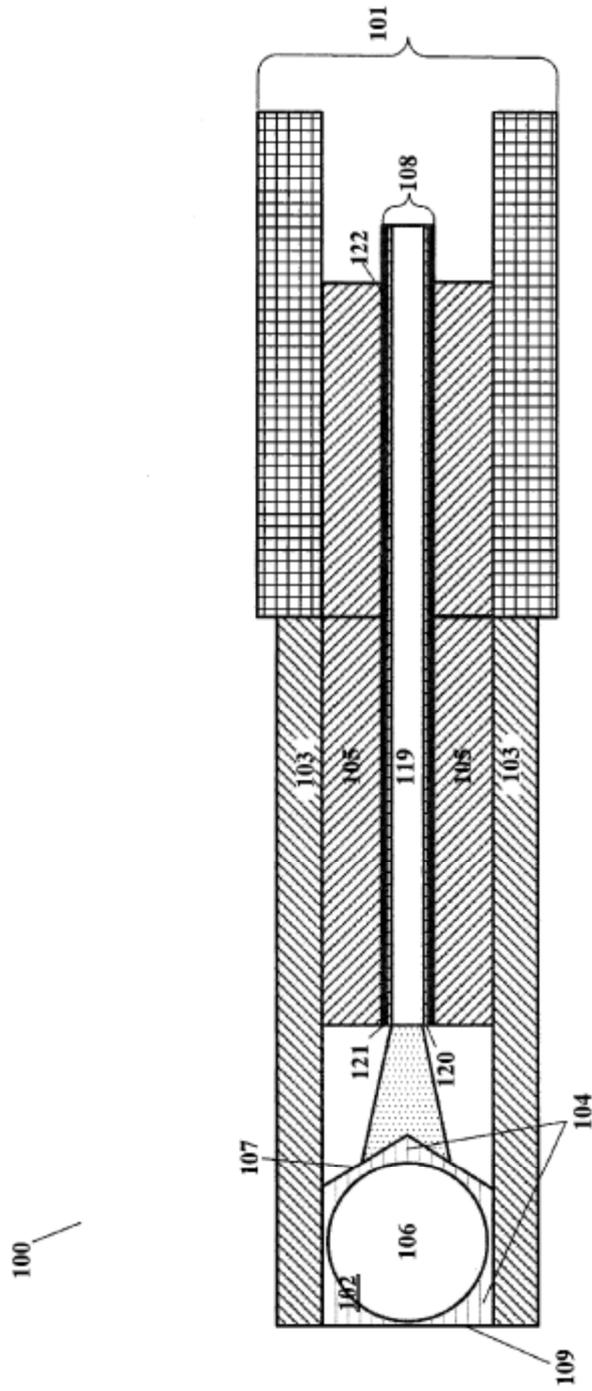


FIG. 1

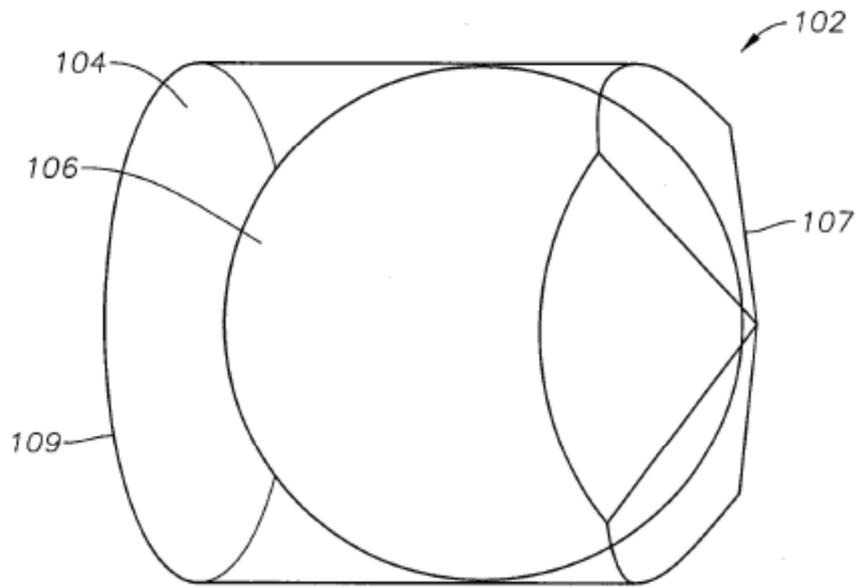


FIG. 2

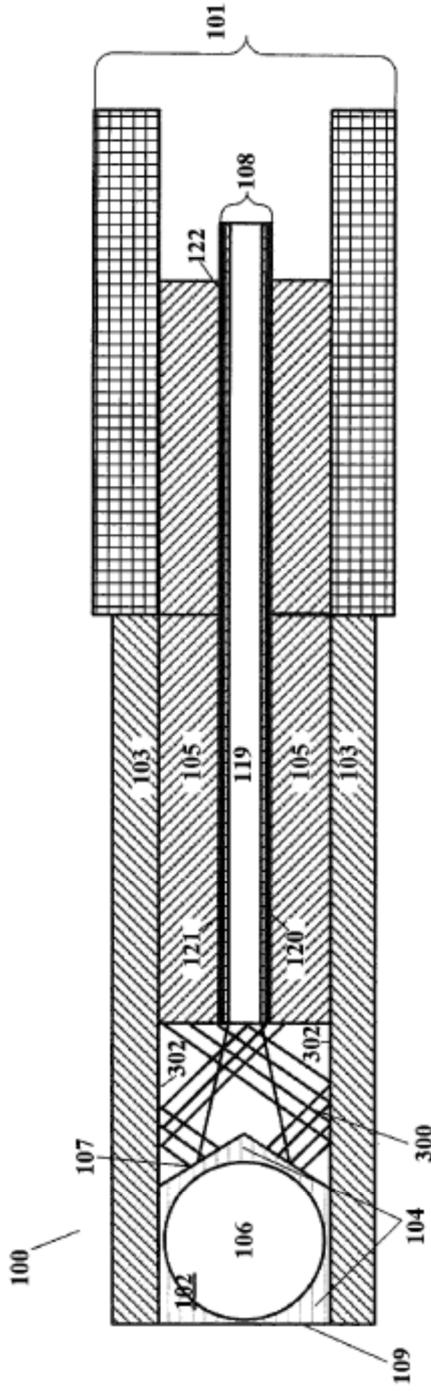


FIG. 3A

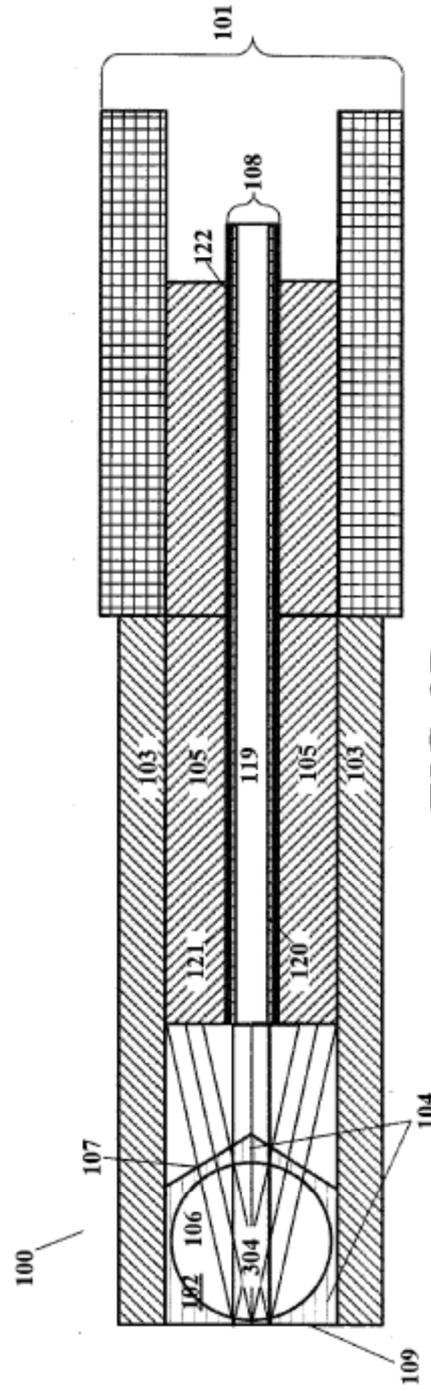
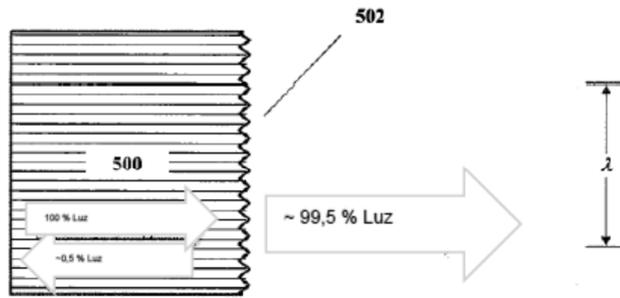
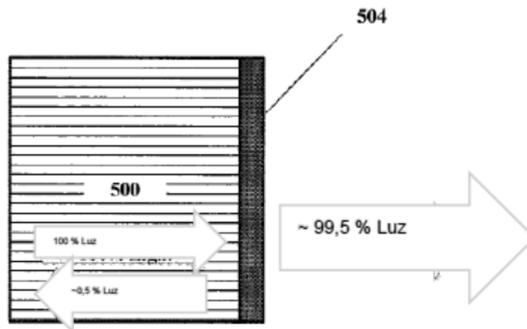


FIG. 3B



t_{eff}
FIG. 5A



t_{eff}
FIG. 5B

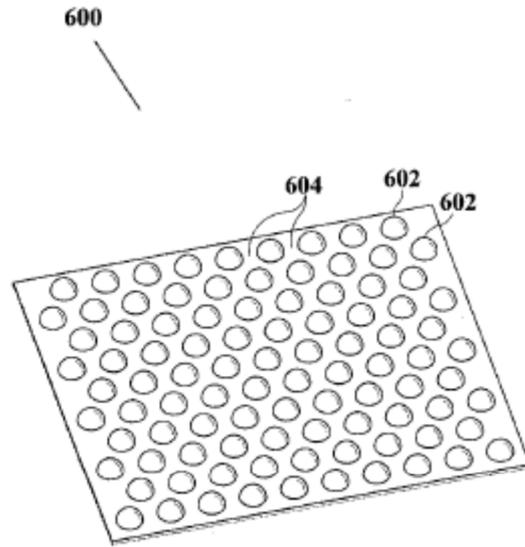


FIG. 6

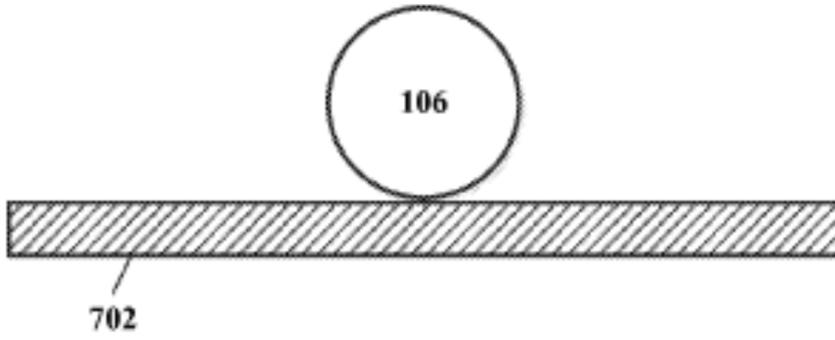


FIG. 7A

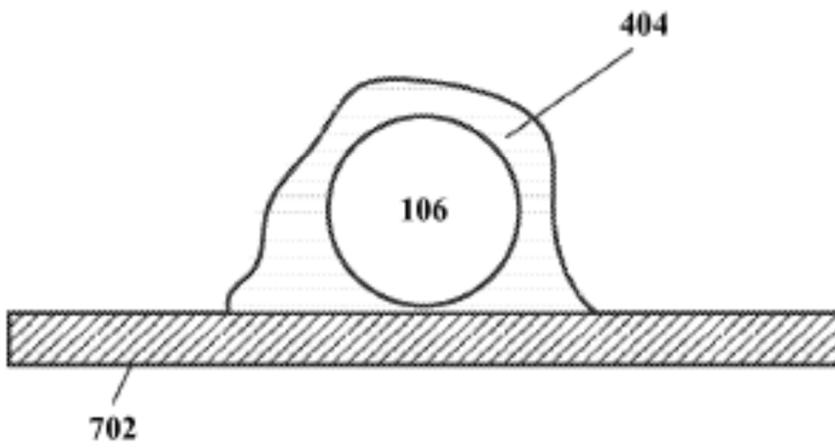


FIG. 7B

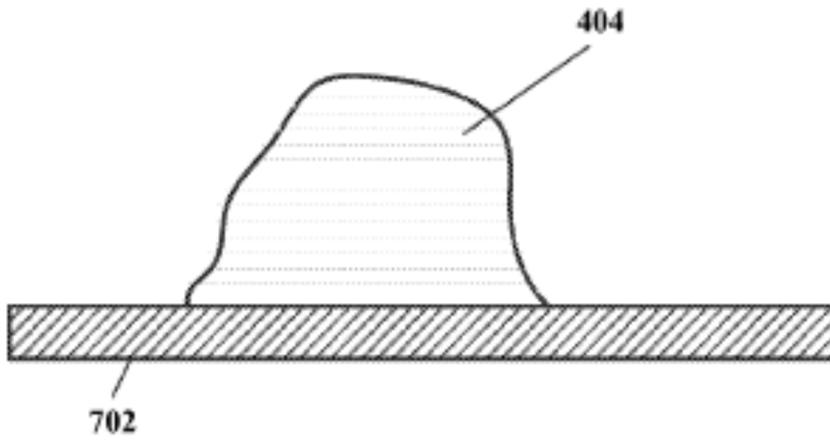


FIG. 7A'

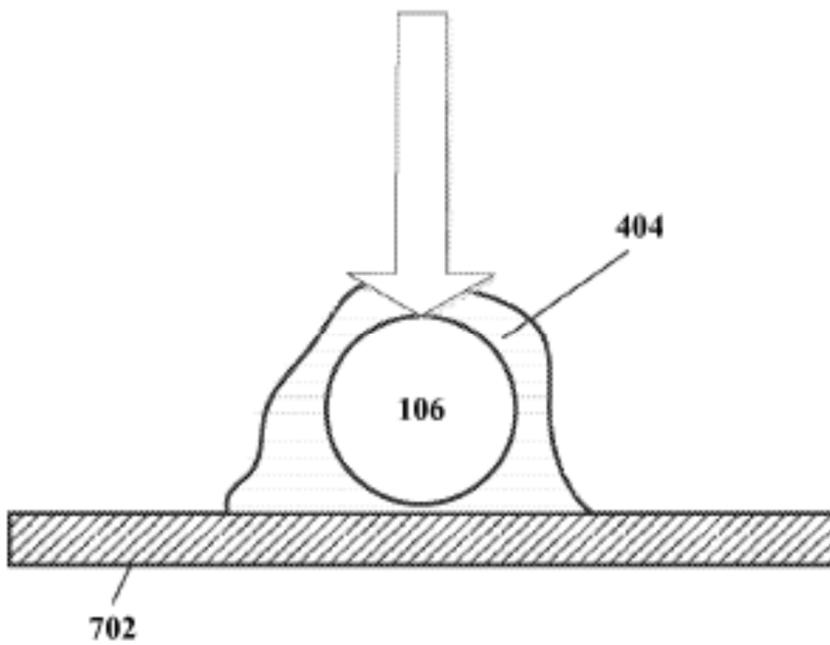


FIG. 7B'

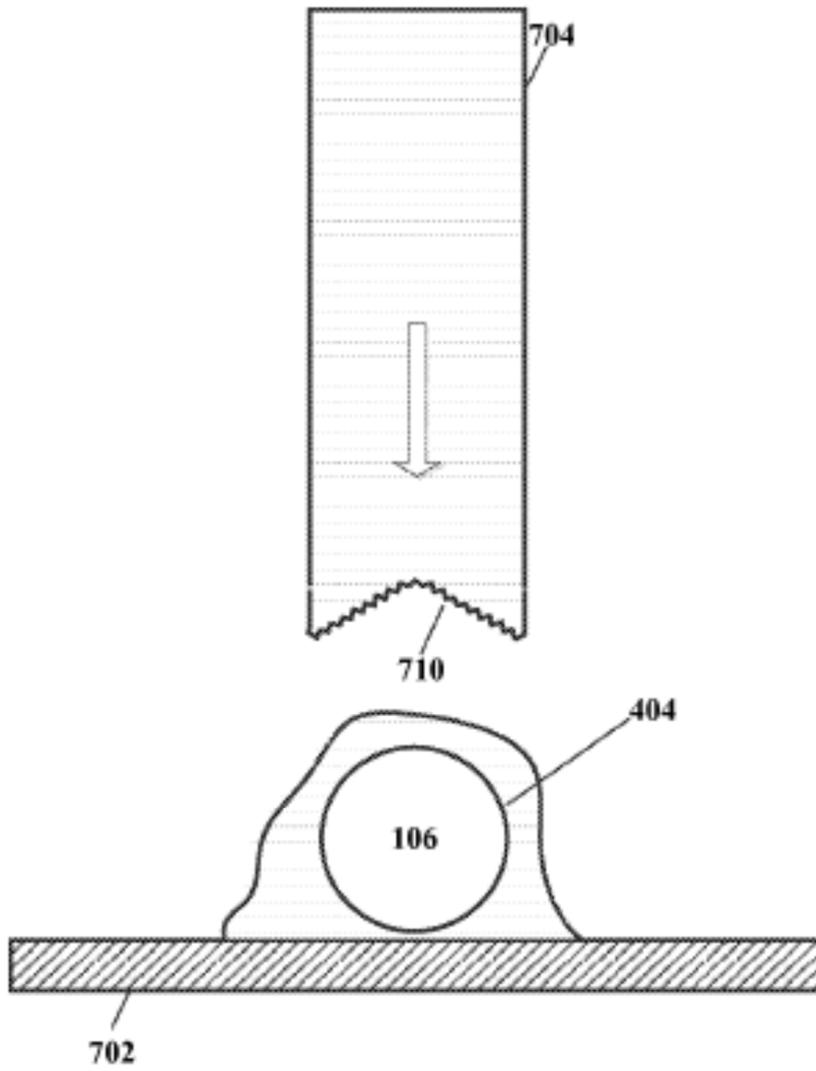


FIG. 7C

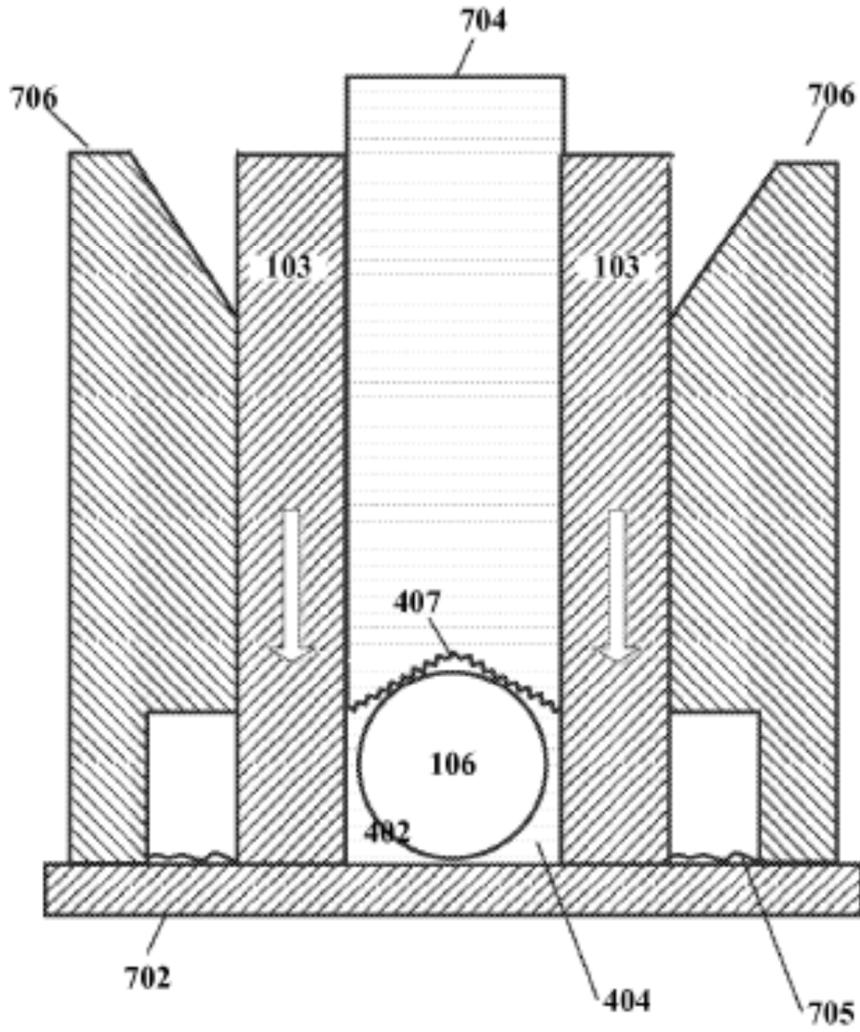


FIG. 7D

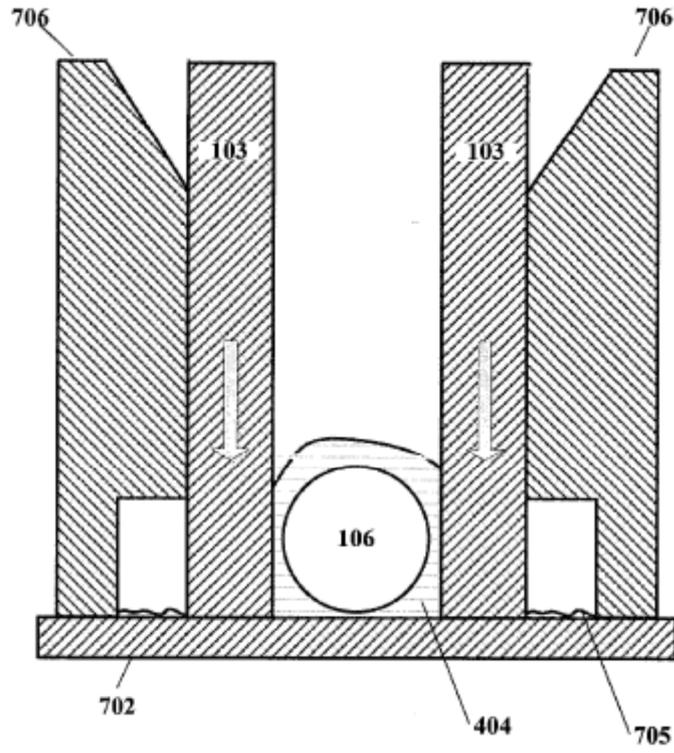


FIG. 7C'

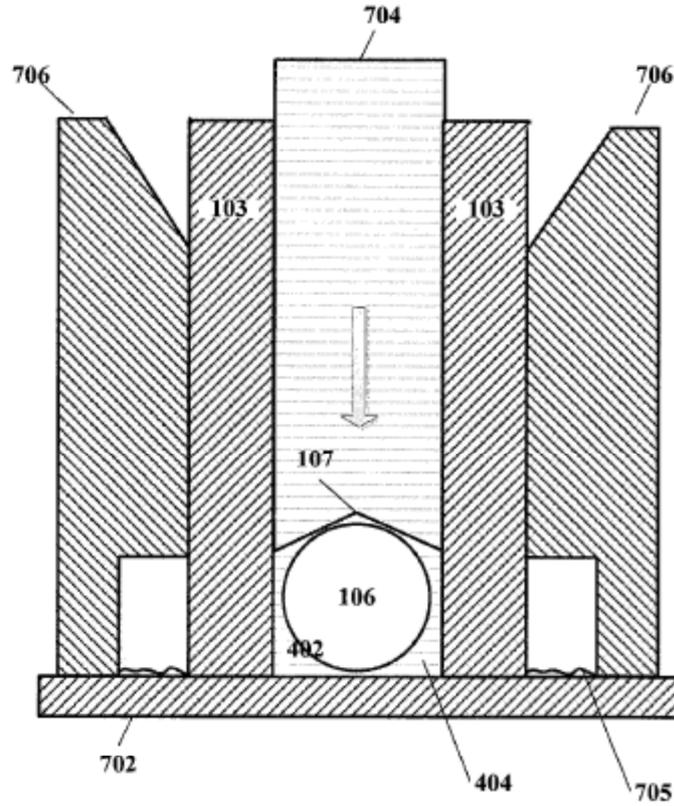


FIG. 7D'

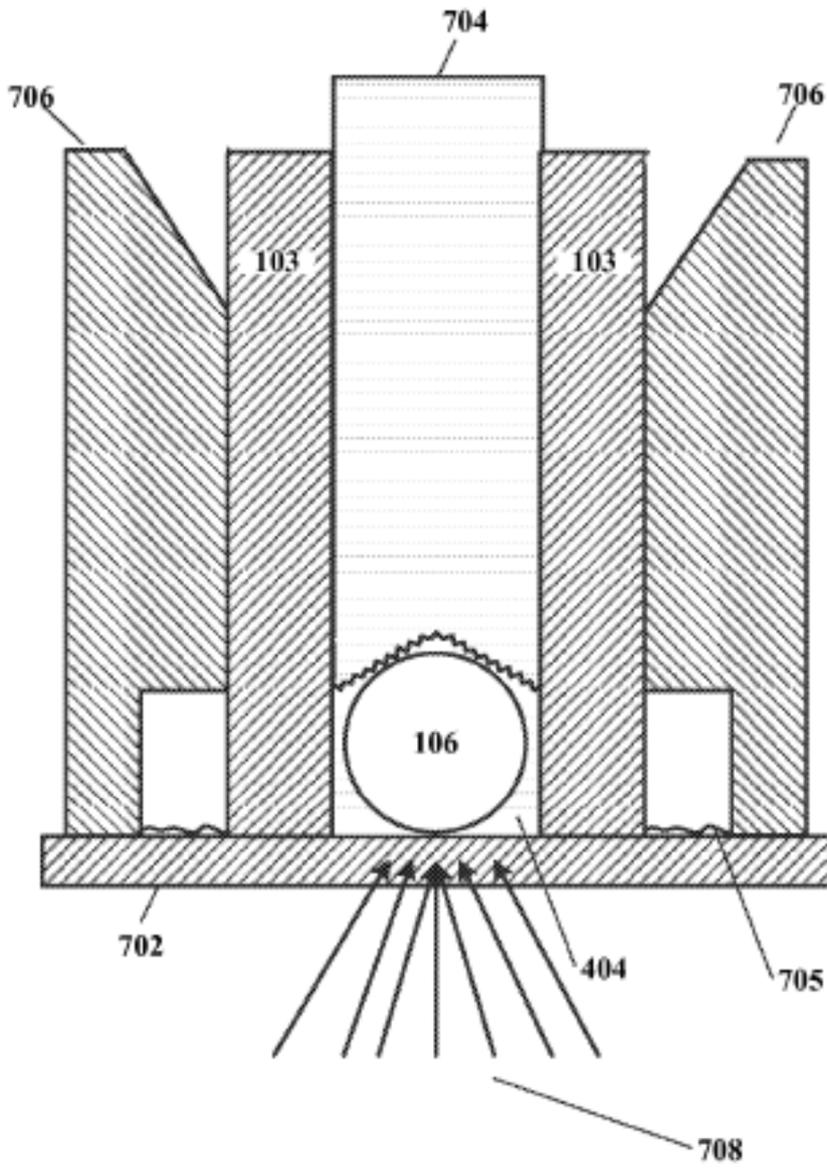


FIG. 7E

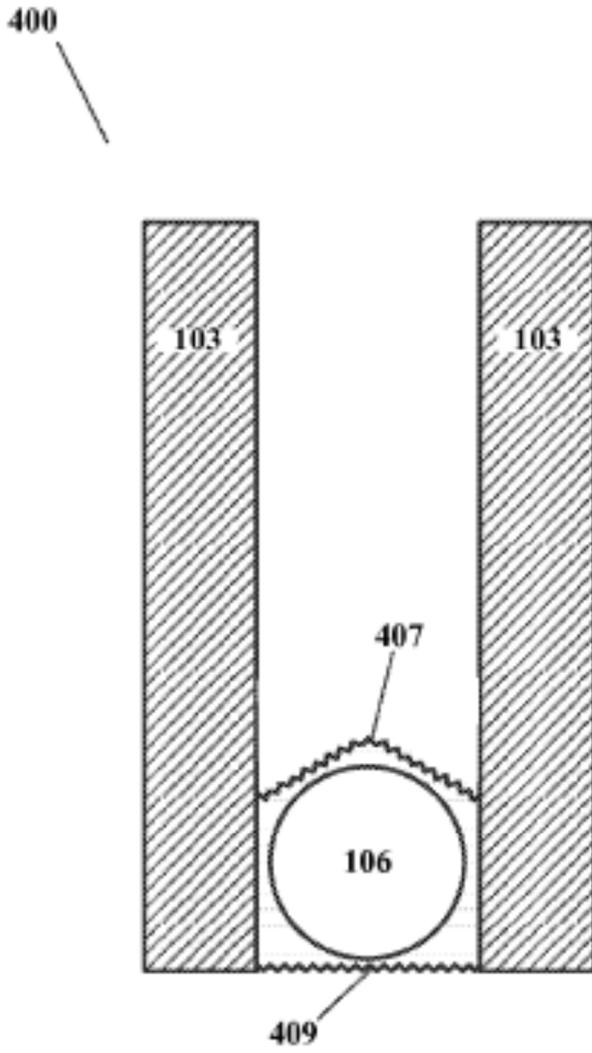


FIG. 7F

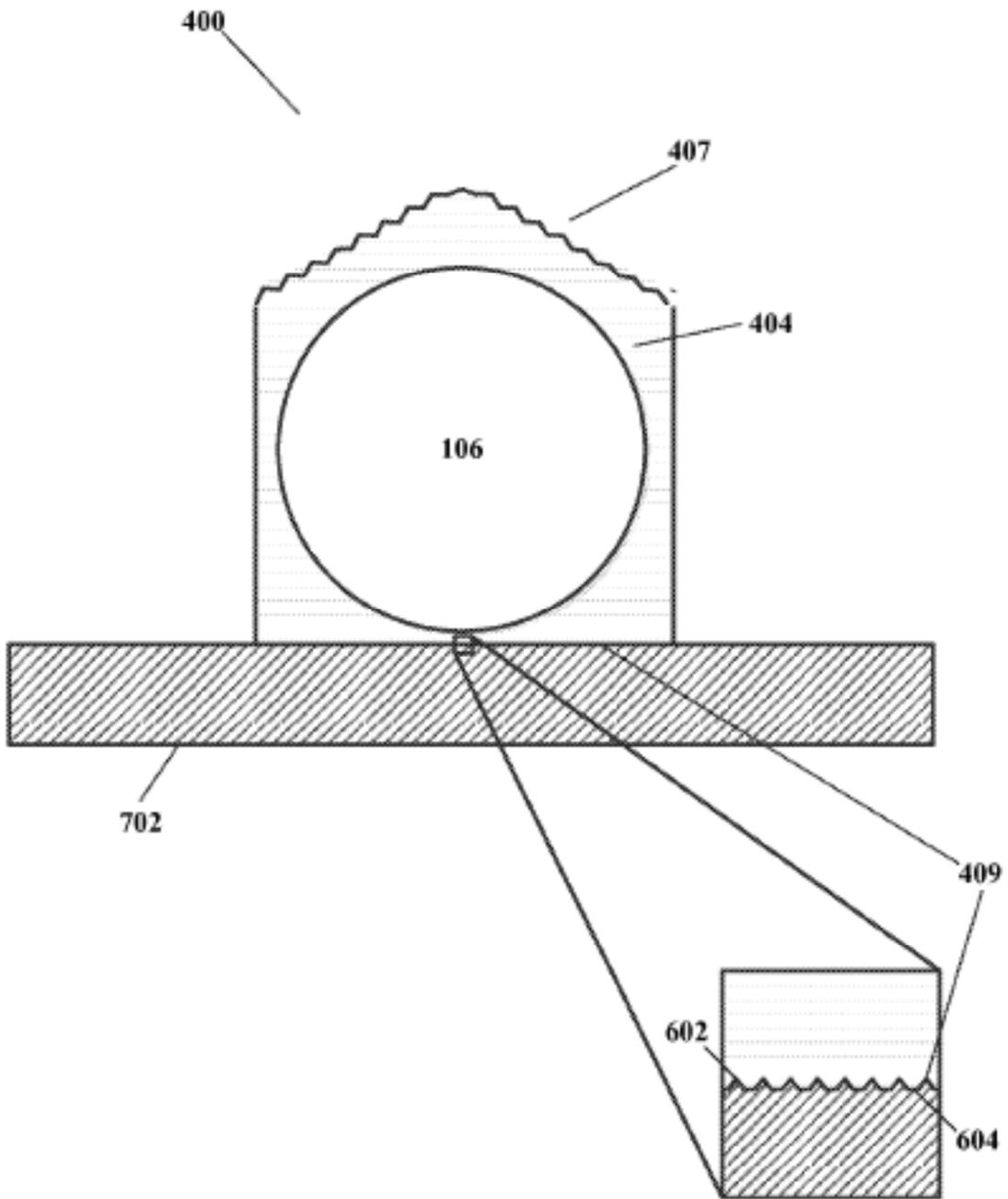


FIG. 8

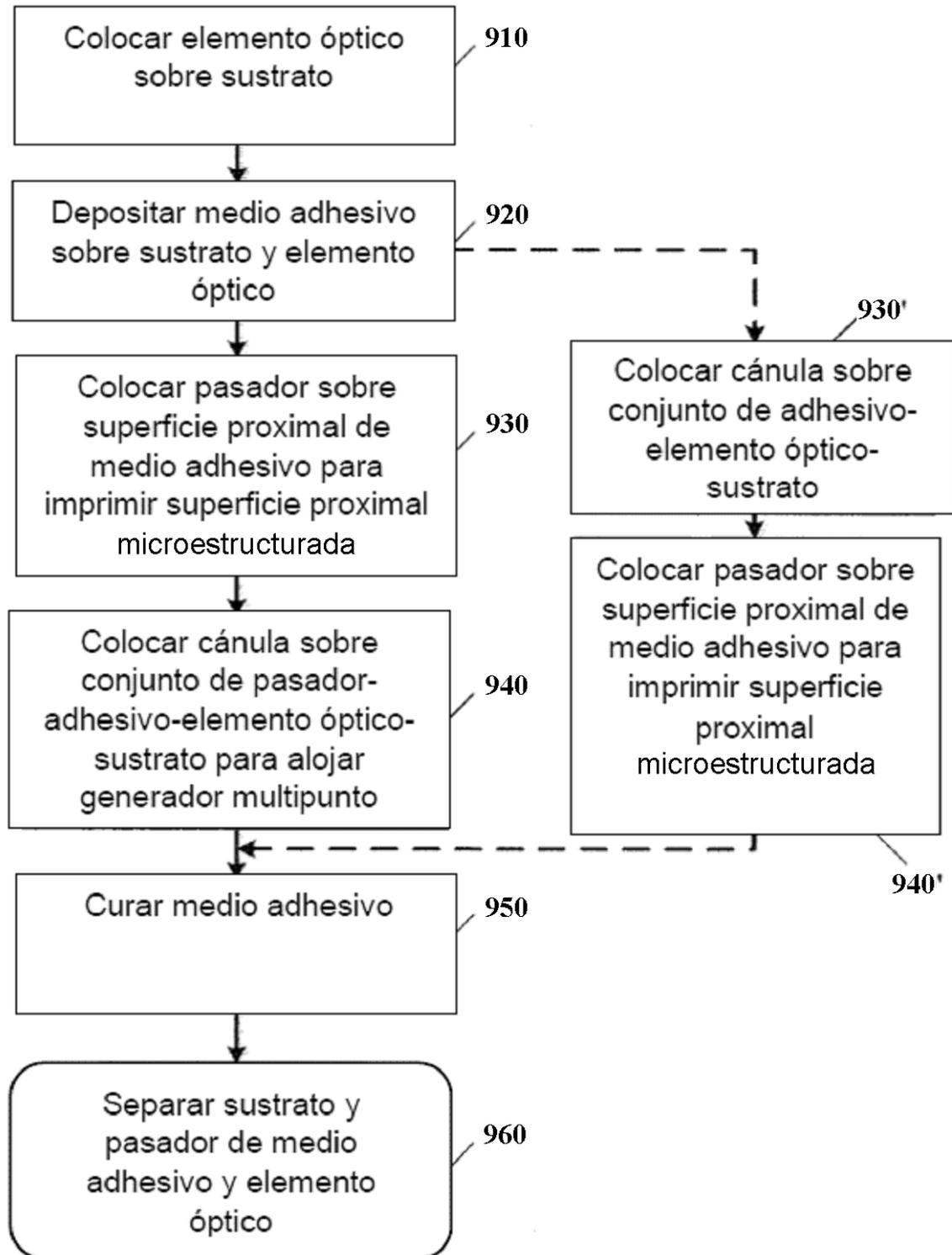


FIG. 9A

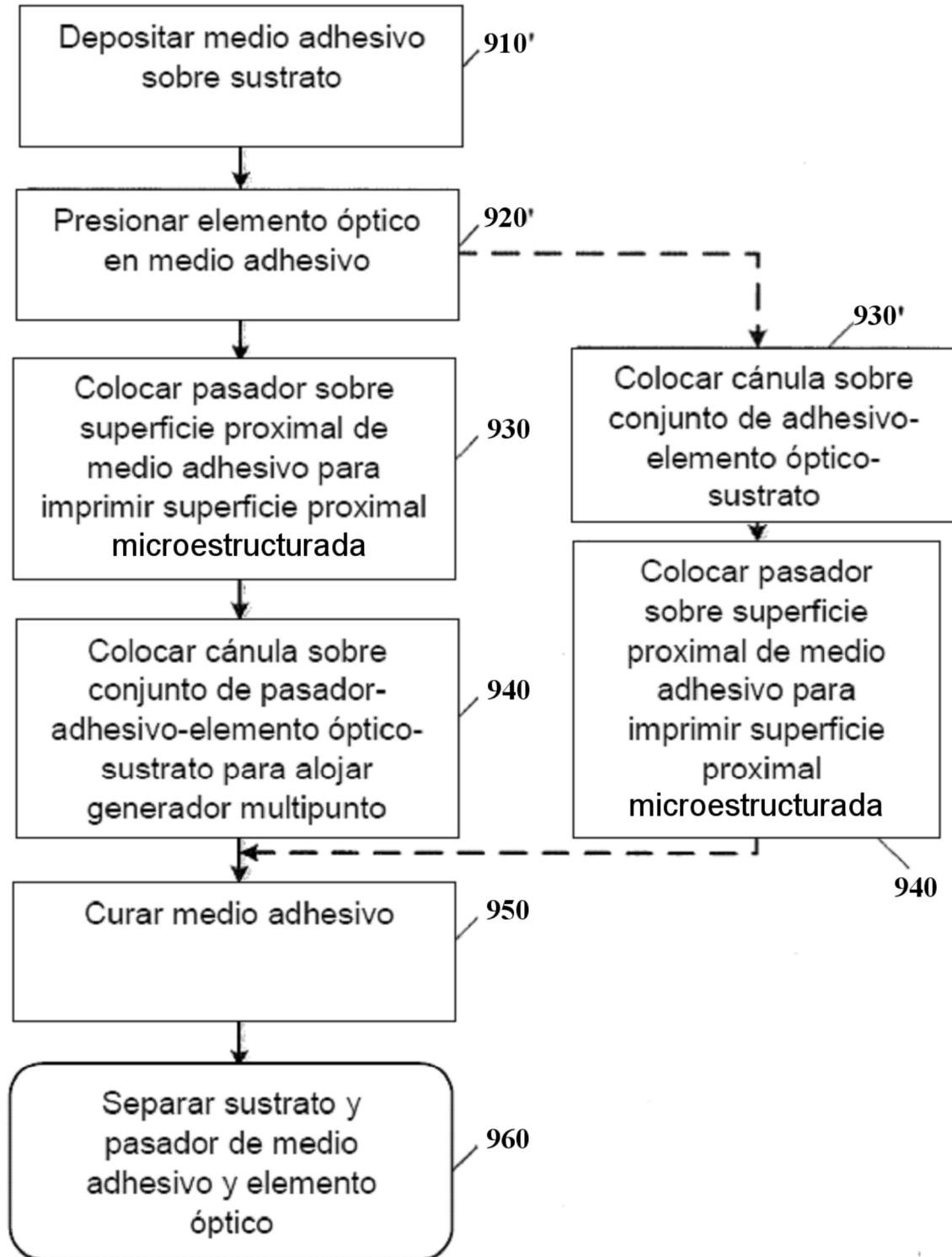


FIG. 9B