

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 987**

51 Int. Cl.:

A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.04.2012 PCT/US2012/032088**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.10.2012 WO12141953**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2012 E 12770533 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2693982**

54 Título: **Estructuras ópticas con características nanoestructurales y métodos de utilización y fabricación**

30 Prioridad:

07.04.2011 US 201161472948 P

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

20.11.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HONG, XIN;
MEADOWS, DAVID;
ZHAN, QIWEN y
KARAKELLE, MUTLU**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 642 987 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

Estructuras ópticas con características nanoestructurales y métodos de utilización y fabricación.

Solicitud relacionada

Esta solicitud reivindica prioridad a la solicitud provisional de EE.UU. n.º de serie 61/472.948 presentada el 7 de abril 2011.

Campo técnico

- 5 Esta descripción se refiere en general a lentes oftálmicas y más particularmente a lentes oftálmicas que tienen superficies de películas delgadas nanoestructuradas que reducen la reflexión superficial.

Antecedentes

- 10 La edad, la enfermedad, el trauma o una combinación de los mismos puede dar como resultado el deterioro de la visión que se puede corregir mediante la utilización de lentes oftálmicas. Las lentes oftálmicas pueden incluir lentes colocadas externamente al ojo o implantadas en el ojo. Las lentes colocadas externamente al ojo incluyen lentes de gafas y lentes de contacto. Las lentes implantadas incluyen lentes intraoculares ("LIO"). Se puede utilizar una LIO "afáquica" para reemplazar una lente natural de cualquier ojo que, por ejemplo, haya desarrollado una catarata. Por lo general, se utiliza una LIO fática con la lente natural intacta. La LIO fática se puede situar bien en la cámara anterior (es decir, delante de la lente natural y el iris) o bien en la cámara posterior (es decir, delante de la lente natural, pero detrás del iris).
- 15 Tradicionalmente, se ha considerado como no deseables la reflectancia superficial y la dispersión de la luz provocada por las lentes oftálmicas. Por ejemplo, la reflectancia puede ser cosméticamente indeseable para las personas que están bajo las cámaras o son fotografiadas. La reflectancia también puede interferir con el examen físico del ojo. Algunos portadores de lentes también informan de reflejos, halos, disfotopsia, reflexiones y otras imágenes no deseables asociadas con las lentes reflectantes.
- 20 Los revestimientos antirreflejos tradicionales formados de capas antirreflejos pulidas y uniformes tienen deficiencias. Por ejemplo, la capacidad para reducir la reflexión puede estar limitada por el índice de refracción del material disponible. Los revestimientos tradicionales a menudo requieren múltiples capas y sólo funcionan para un intervalo limitado de ángulos de reflexión. Además, los revestimientos tradicionales a menudo utilizan materiales rígidos que interactúan mal con el tejido biológico.
- 25 Por consiguiente, se necesitan nuevos sistemas y métodos para reducir la reflexión asociada con las lentes oftálmicas.

La técnica anterior está representada por el documento de EE.UU. 7.789.910 B, que describe un sistema de lente oftálmica que comprende un cuerpo de lente con una superficie exterior curvada, un conjunto que incluye varias nanoestructuras separadas, cubriendo dicho conjunto al menos una parte de la superficie exterior curvada.

Resumen

- 30 La presente invención proporciona un sistema de lente oftálmica que comprende un cuerpo de lente con una superficie curvada exterior y un conjunto que incluye varias nanoestructuras separadas y el método de formación mismo, de acuerdo con las reivindicaciones que siguen. El conjunto cubre al menos una parte de la superficie exterior curvada.
- 35 En otro aspecto de ejemplo, un método de formación de una lente oftálmica comprende proporcionar un cuerpo de lente con una superficie exterior curvada y modificar al menos una parte de la superficie exterior curvada para incluir el primer conjunto que incluye varias nanoestructuras separadas. El primer conjunto cubre al menos una parte de la superficie exterior curvada.
- 40 Otros aspectos, formas, formas de realización, objetivos, características, beneficios y ventajas de la presente invención se harán evidentes a partir de los dibujos detallados y descripciones proporcionadas en la presente memoria.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de la memoria, se ilustran formas de realización de la invención que, junto con una descripción general de la invención dada anteriormente y la descripción detallada dada a continuación, sirven para ejemplificar las formas de realización de esta invención.

La Figura 1 es una lente oftálmica con un conjunto de nanoestructuras.

- 45 La Figura 2 es una sección muy de cerca de la lente de la Figura 1.

La Figura 3 una imagen de un conjunto de nanoestructuras.

Las Figuras 4-5 representan la formación de un conjunto de nanoestructuras de acuerdo con una forma de realización de la invención.

La Figura 6 es una configuración de fabricación para formar el conjunto de nanoestructuras de la Figura 3.

5 La Figura 7 es una gráfica que describe el índice de refracción de los conjuntos formados con varios ángulos de evaporación.

La Figura 8 es una gráfica que describe la reflectancia del conjunto de nanoestructuras de la Figura 3.

La Figura 9 es una vista superior de otro conjunto de nanoestructuras.

La Figura 10 es una vista lateral del conjunto de nanoestructuras de la Figura 9.

10 La Figura 11 es todavía otro conjunto de nanoestructuras.

La Figura 12 es un conjunto de nanoestructuras de acuerdo con una forma de realización de la descripción.

La Figura 13 representa una parte de la película multicapa que se puede formar con uno de los conjuntos de nanoestructuras de la presente descripción.

La Figura 14 representa un ejemplo de las capas que se pueden utilizar en la película multicapa de la Figura 13.

15 La Figura 15 representa una forma de realización en capas de la presente descripción.

La Figura 16 es una vista frontal de una lente intraocular provista de un conjunto antirreflectante.

La Figura 17 es una vista lateral de la lente intraocular de la Figura 12.

Descripción detallada

20 Con los fines de promover una comprensión de los principios de la invención, ahora se hará referencia a las formas de realización o ejemplos ilustrados en los dibujos y se utilizará un lenguaje específico para describir los mismos. Sin embargo, se entenderá que no se pretende limitar de este modo el alcance de la invención. Se contemplan cualesquiera alteraciones y modificaciones adicionales en las formas de realización descritas y cualesquiera solicitudes adicionales de los principios de la invención según se describen en la presente memoria, como se le ocurrirían normalmente a un experto en la técnica a la que se refiere la invención.

25 Las Figs. 1 y 2 muestran una lente oftálmica 10 con un cuerpo de lente 12 con una superficie curvada 14. Una formación o conjunto de nanoestructuras 16 se forma sobre la superficie curvada 14 del cuerpo de lente 12. Según se muestra en la vista de detalle de la Figura 2, el conjunto de nanoestructuras 16 comprende un sustrato 18 sobre el que se forman las nanoestructuras 20. Las nanoestructuras 20 incluyen salientes 22 e intersticios o separaciones 24. La forma, tamaño, ángulo, densidad y propiedades del material de las nanoestructuras pueden diseñarse para modificar el índice de refracción eficaz de la lente 10 y modificar de este modo la reflectancia de la lente. Diseñar las nanoestructuras con intersticios para crear un conjunto poroso 16 puede dar como resultado que el conjunto tenga un índice de refracción inferior al que tendría el material si se depositara como una capa uniforme. El conjunto poroso creado por las nanoestructuras puede servir además para reducir la reflexión superficial, reducir la dispersión superficial, mejorar la interacción con el tejido biológico, mejorar la lubricación superficial y reducir o evitar la opacificación capsular posterior. Según se describirá con mayor detalle a continuación, en algunas formas de realización, se pueden utilizar múltiples capas del conjunto poroso 16 para aumentar la reflectividad o crear un espejo de múltiples capas.

35 Los salientes 22 tienen una altura aproximada H de entre 100 y 200 nm y una anchura aproximada W entre 25 y 50 nm. Las separaciones 24 entre los salientes 22 tienen una anchura S aproximada entre 10 y 30 nm. Se entiende que estas dimensiones están destinadas a ser ejemplos y dimensiones mayores o menores que las dimensiones enumeradas también pueden ser adecuadas. A través de una combinación de la forma, tamaño, ángulo, densidad y propiedades del material de los salientes 22 y la forma, tamaño y densidad de los intersticios 24, el conjunto 16 se puede formar para tener un índice de refracción menor que el cuerpo de lente 12, reduciendo por lo tanto la cantidad de reflexión causada por la lente 10 en comparación con el cuerpo de lente 12 sin el conjunto 16. En al menos una forma de realización, el índice de refracción del conjunto 16 puede ser menor de 1,4 cuando el índice del cuerpo de lente sin modificar variaría de lo contrario en el intervalo desde aproximadamente 1,52 hasta aproximadamente 1,60. En otras formas de realización, el índice de refracción del conjunto puede estar entre aproximadamente 1,30 y 1,60.

40 Las nanoestructuras pueden servir para reducir la reflectividad de la lente en comparación con una lente sin las nanoestructuras. Por ejemplo, las lentes intraoculares en un medio acuoso pueden tener una reflectividad de aproximadamente el 0,6%. Una lente de contacto en un medio de aire puede tener una reflectividad

aproximadamente en el intervalo de 2,5 a 5,5%. La incorporación de nanoestructuras, tales como las descritas arriba y abajo, puede servir para reducir la reflectividad.

El conjunto antirreflectante se muestra que cubre la totalidad de la superficie curvada 14, pero en formas de realización alternativas, el conjunto antirreflectante se puede aplicar a regiones específicas y ser omitido en otras regiones. En esta forma de realización, la superficie curvada es una superficie convexa, pero en formas de realización alternativas, la superficie del cuerpo de lente que recibe el conjunto antirreflectante puede ser convexa, plana o tener una forma diversa. Además, el conjunto antirreflectante se puede formar dentro del cuerpo de lente. Para los fines de esta descripción, el término "antirreflectante" puede significar "no reflectante" o cualquier nivel de reflectividad menor que el que tendría el cuerpo de lente solo. En algunas formas de realización alternativas, el sustrato puede ser el propio cuerpo de lente, pero en otras formas de realización, el sustrato puede ser un material distinto que se aplica al cuerpo de lente.

Con referencia ahora a la Fig. 3, en una forma de realización, el conjunto 16 puede ser una película nanoporosa 29 con un sustrato 30 desde el que, en general, se extienden varillas 32 separadas. El sustrato puede ser, por ejemplo, un cuerpo de lente. Las varillas 32 están separadas por separaciones o poros 34. Las varillas pueden tener una altura H entre aproximadamente 100 y 200 nm y una anchura W entre aproximadamente 25 y 50 nm. Los poros pueden tener una anchura S de aproximadamente 20 nm. La película nanoporosa de esta forma de realización se puede fabricar con intervalos de tamaño controlables utilizando cualesquiera de una variedad de técnicas que incluyen la deposición física en fase de vapor, la evaporación térmica, la deposición química en fase de vapor o el grabado químico. Los métodos adecuados de deposición física en fase de vapor se pueden realizar mediante pulverización catódica o haz de electrones energéticos (evaporación del haz E). Los métodos adecuados de deposición química en fase de vapor pueden incluir deposición química en fase de vapor mejorada por plasma (PECVD). Las varillas se pueden formar de cualquiera de una variedad de materiales que incluyen los dieléctricos, los metales, los polímeros y los materiales orgánicos. El dióxido de silicio (SiO_2) es un ejemplo de un material que puede ser adecuado.

Las Fig. 4-5 ilustran un ejemplo de un proceso de evaporación de ángulo oblicuo adecuado de acuerdo con la invención para fabricar una película nanoporosa del tipo representado en la Fig. 3. Según se muestra en la Fig. 4, el flujo de vapor 40 se aplica con un ángulo de incidencia de vapor Θ_A con relación a una línea imaginaria 41 que se extiende perpendicular a un sustrato 42. A medida que se deposita el flujo de vapor 40, las varillas 44 crecen. Las varillas en crecimiento 44 producen regiones de sombra 46 donde el flujo de vapor no se puede depositar. Estas regiones 46 forman los poros 48 entre las varillas 44. La porosidad se puede ajustar mediante el ajuste del ángulo incidente Θ_A del flujo de vapor. El proceso puede modificar directamente el sustrato del cuerpo de lente o el proceso se puede realizar sobre un sustrato distinto y posteriormente adherirse al cuerpo de lente.

Según se muestra en la Fig. 6, la evaporación de ángulo oblicuo por haz de electrones es un método que se puede utilizar para la deposición en ángulo oblicuo. Un sustrato 50 se puede colocar con un ángulo Θ_B en relación con una línea L que es paralela a un crisol 52 de material fuente 54. El SiO_2 puede ser un material fuente adecuado. Un filamento 56 se puede calentar hasta que emite un haz de electrones que actúa sobre el material fuente para crear un vapor 58 que se deposita sobre el sustrato 50 en forma de varillas como se muestra en la Fig. 3.

La película nanoporosa formada tendrá generalmente un índice de refracción menor que tendría el material depositado si se aplicase en una capa uniforme y pulida, debido a que los espacios de aire proporcionados por los poros actúan para disminuir el índice de refracción eficaz de la película. Variando el ángulo de deposición, la porosidad de la película y, por tanto, el índice de refracción de la película se puede seleccionar y ajustar casi de forma continua. Por lo tanto, los índices de refracción de los conjuntos antirreflectantes formados con este proceso son ajustables en el proceso de fabricación.

La Fig. 7 representa los datos experimentales que muestran la influencia que el ángulo de evaporación del haz de electrones tiene en la película de SiO_2 fabricada utilizando la técnica descrita anteriormente. Cada una de las curvas 70-75 representa el índice de refracción de la película de SiO_2 fabricada con diferentes ángulos de evaporación del haz de electrones y con longitudes de onda que varían entre 400 y 900 nm. La curva 70 está basada en un ángulo de evaporación de 60° . La curva 71 está basada en un ángulo de evaporación de 70° . La curva 72 está basada en un ángulo de evaporación de 75° . La curva 73 está basada en un ángulo de evaporación de 80° . La curva 74 está basada en un ángulo de evaporación de 85° . La curva 75 está basada en un ángulo de evaporación de 90° . Según se muestra, cuando el ángulo entre el plano del material fuente y el plano del sustrato es de aproximadamente 80° , el índice de refracción de la película varía entre aproximadamente 1,17 y 1,13. Con mayores ángulos de evaporación, el índice de refracción disminuye y con ángulos de evaporación más pequeños, el índice de refracción aumenta.

La técnica descrita se puede utilizar para crear un único nivel de nanoestructuras, sin embargo, en formas de realización alternativas, se puede depositar una capa de cierre sobre las varillas formadas y se puede formar un segundo nivel de varillas en la parte superior del primer nivel. De esta manera, se pueden formar estructuras multicapa con índices de refracción aún más variables.

La Fig. 8 muestra el rendimiento de reflectancia calculado de dos capas de SiO₂ nanoporosas fabricadas utilizando los métodos descritos anteriormente. El conjunto o revestimiento de dos capas de SiO₂ incluye una capa nanoporosa de SiO₂ de 145 nm ($n = 1,27$) seguido de una capa nanoporosa de SiO₂ de 223 nm ($n = 1,05$). La reflectancia con una longitud de onda de 633 nm es menor del 0,2% para ángulos de hasta 70° y menor del 12% hasta 80°. Se puede mantener un rendimiento similar para un intervalo espectral entre 400 y 800 nm. La reflectancia sin el conjunto de SiO₂ nanoporoso también se muestra. La curva 80 representa la reflectancia de un haz eléctrico transversal (TE) sin un conjunto antirreflectante, y la curva 81 representa la reflectancia de un haz magnético transversal (TM) sin un conjunto antirreflectante. La curva 82 representa la reflectancia de un haz eléctrico transversal (TE) con el conjunto antirreflectante de dos capas descrito anteriormente. La curva 83 representa la reflectancia de un haz magnético transversal (TM) con el conjunto antirreflectante de dos capas descrito anteriormente. La gráfica de la Figura 8 muestra que la reflectancia tanto para TE como TM es casi cero con ángulos de incidencia de hasta 70°, con la utilización del conjunto antirreflectante. Añadir este tipo de revestimiento con ancho de banda y amplio ángulo de aceptación antirreflectante puede reducir la reflexión y la dispersión no deseadas.

Con referencia ahora a las Figs. 9 y 10, el conjunto antirreflectante 16 puede ser un conjunto estructurado 90 de "ojo de polilla" con salientes 92 y separaciones 94 que se repiten periódicamente. El conjunto 90 se denomina "ojo de polilla" porque la estructura es una configuración biomimética que simula la estructura de un ojo de polilla. Los salientes pueden ser semiesféricos, cónicos, piramidales u otra forma que proporcione un efecto generalmente cónico. El periodo de la matriz es la distancia P entre los puntos más altos de los salientes adyacentes. Aunque el periodo P puede variar entre salientes adyacentes, generalmente es mucho menor que la longitud de onda de operación de la lente. La altura H de los salientes es también generalmente menor que la longitud de onda de operación de la lente. El efecto es un perfil del gradiente del índice de distribución que varía entre el índice del medio circundante y el índice del sustrato. La teoría del medio eficaz se puede aplicar para calcular el índice de refracción medio del conjunto. El diseño del perfil del gradiente del índice se puede utilizar para crear una capa con ancho de banda y amplio ángulo de aceptación antirreflectante.

Para fabricar la película estructurada de ojo de polilla, se fabrica primero un molde con nanoesferas densamente empaquetadas u otras nanopartículas suspendidas en un sustrato de silicio. Se moldea un molde de polidimetilsiloxano (PDMS) y se puede utilizar para el posterior estampado y replicación para producir en masa la película de ojo de polilla 90. La estampación y la replicación se pueden aplicar ya sea a una lente directamente o a un material que puede ser aplicado a la lente. Como con la forma de realización de la Fig. 3, el conjunto de ojo de polilla 90 tiene un índice de refracción eficaz inferior que el cuerpo de lente no modificado. Por lo tanto, la reflectividad de la lente se reduce en comparación con el cuerpo de lente no modificado.

Con referencia ahora a la Fig. 11, el conjunto de nanoestructuras 16 puede ser una estructura de retícula 100 con salientes 102 alargados y separaciones 104 formadas con un patrón de repetición sobre un sustrato 106. Los salientes pueden tener una altura H y un periodo P que son generalmente mucho más pequeños que la longitud de onda de operación de la lente. La estructura de retícula 100 puede funcionar como revestimiento antirreflectante. También puede funcionar para acoplar la luz incidente en modos guiados desviando o refractando la luz en las direcciones deseadas.

Para fabricar la estructura de retícula 100, una técnica adecuada que se puede utilizar es la litografía por interferencia de luz ultravioleta (UV). Esta técnica puede fabricar retículas sobre superficies grandes, tales como una lente, y es adecuada para utilizarse en superficies curvas debido a su gran profundidad de enfoque. Al utilizar la litografía de interferencia, se utiliza un molde, hecho de silicio u otro material adecuado para la producción en masa, para el posterior estampado y replicación de una lente directamente o de un material que se pueda aplicar a la lente. Como con la forma de realización de la Fig. 3, la estructura de retícula 100 tiene un índice de refracción eficaz menor que el cuerpo de lente no modificado. Por lo tanto, la reflectividad de la lente se reduce en comparación con el cuerpo de lente no modificado.

Con referencia ahora a la Fig. 12, en otra forma de realización de la presente invención, el conjunto 16 puede ser similar a la película nanoporosa 29 descrita anteriormente, pero en lugar de varillas lineales, se extienden varias varillas helicoidales 110 desde el sustrato. Las varillas helicoidales se pueden formar girando el sustrato durante el proceso de formación, tal como un proceso de deposición en ángulo oblicuo. Debido a que la orientación en el plano de las varillas 110 cambia de forma continua a medida que crece la película, la película se puede diseñar para aplicaciones reflectantes o antirreflectantes.

Con referencia ahora a la Fig. 13, las capas de los conjuntos de nanoestructuras 120, de cualquiera de los tipos descritos anteriormente, se pueden disponer para llevar a cabo una película multicapa altamente reflectante 119. En esta forma de realización, cada capa de película de 122-128 incluye un conjunto de nanoestructura 120. Las capas 122-128 son birrefringentes y cuando se disponen como se describe a continuación forman una película multicapa altamente reflectante que tiene propiedades ópticas birrefringentes gigantes (GBO). Por ejemplo, las capas 122 y 126 tienen las nanoestructuras orientadas en el plano YZ. La Fig. 14 proporciona un ejemplo de una capa 130 con retículas de nanoestructura 134 orientadas en el plano YZ. La Fig. 15 proporciona un ejemplo de una capa 140 con nanovarillas 144 orientadas en el plano YZ. Las capas 124 y 128 de la película 119 tienen nanoestructuras orientadas en el plano XZ. La Figura 14 proporciona un ejemplo de una capa 132 con retículas de nanoestructura

136 orientadas en el plano XZ. La Figura 15 proporciona un ejemplo de una capa 142 con nanovarillas 146 orientadas en el plano XZ. Aunque se han descrito películas laminadas por separado, en formas de realización alternativas, se pueden utilizar varillas helicoidales, tales como las descritas anteriormente para la Fig. 12, para llevar a cabo una orientación en el plano que cambie de forma continua. Las varillas helicoidales descritas anteriormente para la Fig. 12 también se pueden utilizar para crear eficazmente una orientación en el plano que cambie de forma continua.

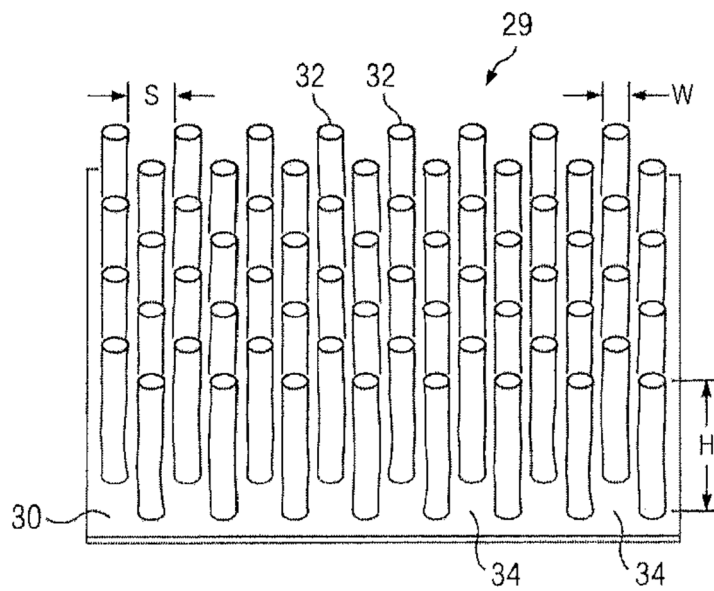
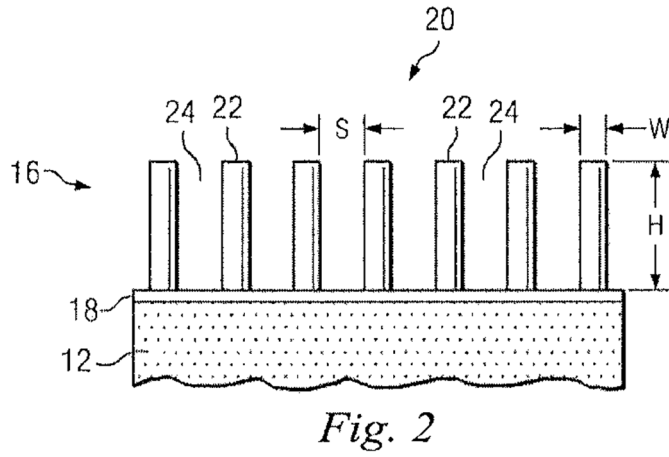
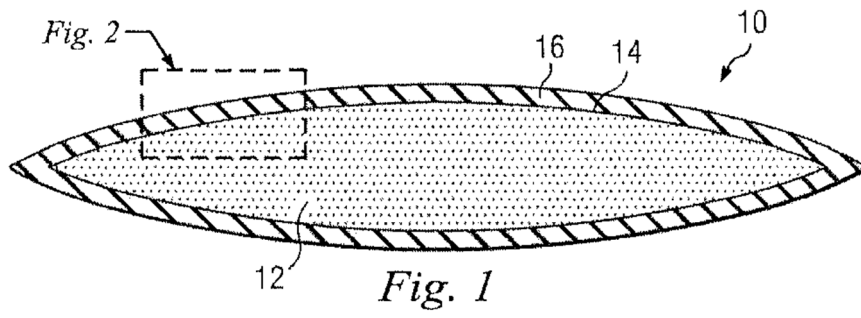
Se pueden utilizar películas altamente reflectantes formadas utilizando nanoestructuras en aplicaciones que utilizan superficies de espejo o películas. Por ejemplo, los implantes ópticos de espejo, tales como los implantes intraoculares telescópicos, pueden utilizar componentes de espejo para llevar a cabo la reflexión y el enfoque de la luz. La Patente de EE.UU. n.º 7.842.086, describe implantes intraoculares de espejo que pueden ser adecuados para utilizar con las películas altamente reflectantes descritas anteriormente. En una forma de realización, un implante intraocular de este tipo incluye un cuerpo de implante con varios espejos que reciben luz desde una escena y enfocan la luz sobre la retina. Al menos uno de los espejos incluye una superficie que se fabrica altamente reflectante a través de la utilización de las películas reflectantes de nanoestructuras descritas anteriormente. Generalmente, las superficies reflectantes tienen una reflectividad de aproximadamente el 25% o más.

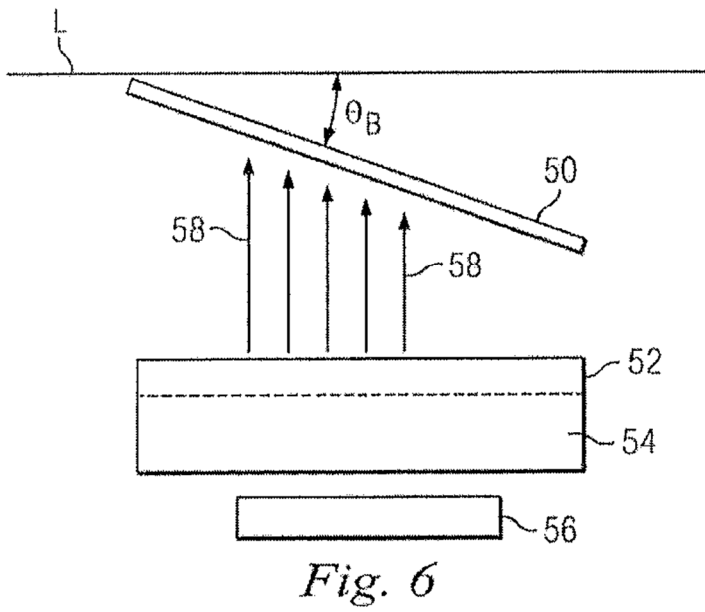
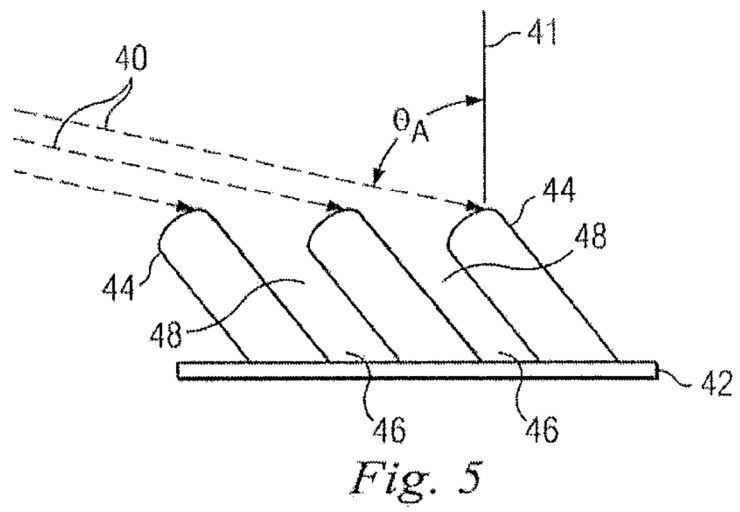
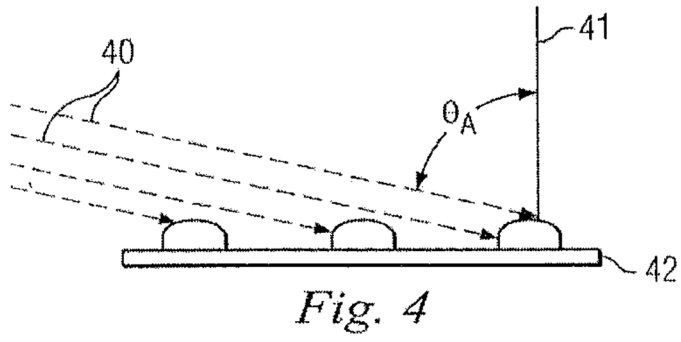
Con referencia ahora a las Figs. 16 y 17, una lente intraocular 150 es un tipo de lente oftálmica que se puede mejorar utilizando cualesquiera de los conjuntos de nanoestructuras 16 descritos anteriormente. La lente intraocular 150 tiene un cuerpo de lente 152 desde el que se extienden un par de hápticas 154 de retención de lente. Según se muestra más claramente en la Figura 17, un conjunto de nanoestructuras 156, de cualesquiera de los tipos descritos anteriormente, puede cubrir las superficies del cuerpo de lente 152. Puede, alternativamente, ser deseable también cubrir las hápticas o cubrir solamente una parte del cuerpo de lente. Una lente intraocular adecuada puede tener un cuerpo de lente formado de silicona o de un polímero tal como ACRYSOF® (marca registrada de Alcon, Ft. Worth, Texas).

Para las lentes intraoculares y otras lentes oftálmicas que entran en contacto directamente o se implantan en el ojo, la biocompatibilidad es importante para la funcionalidad de la lente. Las superficies abigarradas de los conjuntos antirreflectantes descritos anteriormente pueden permitir la microlubricación y el movimiento y la canalización del líquido beneficioso en contacto con el tejido biológico circundante. Por ejemplo, una lente intraocular interactúa con el humor acuoso del ojo y la utilización de los conjuntos 16 puede permitir un desgaste prolongado al tiempo que también reduce la reflectividad de la lente.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de lente oftálmica (10) que comprende:
un cuerpo de lente (12) con una superficie exterior curvada (14);
un conjunto (16) que incluye varias nanoestructuras (20) separadas, cubriendo dicho conjunto (16) al menos una parte de la superficie exterior curvada (14),
5 caracterizado por que las varias nanoestructuras (20) separadas comprenden nanovarillas (44) que se extienden desde dicha parte de la superficie exterior curvada (14), de manera que un eje longitudinal central de cada una de dichas varias nanovarillas (44) separadas se extiende con un ángulo oblicuo con respecto a la parte correspondiente de la superficie exterior curvada (14).
- 10 2. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde un índice de refracción del conjunto (16) está entre 1,3 y 1,6.
3. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde las nanoestructuras (20) comprenden nanovarillas helicoidales (110).
- 15 4. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde el conjunto (16) está unido a la superficie exterior curvada (14).
5. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde el conjunto (16) se forma integralmente con la superficie exterior curvada (14).
6. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde el cuerpo de lente (12) es una lente intraocular.
7. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde el cuerpo de lente (12) es una lente de contacto.
- 20 8. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde las varias nanoestructuras (20) se forman a partir SiO₂.
9. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde un índice de refracción de la superficie exterior curvada (14) es mayor que el índice de refracción del conjunto (16).
- 25 10. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde el conjunto comprende una primera capa (142) que incluye varias primeras nanovarillas (146) y en donde el conjunto comprende además una segunda capa (140) que cubre al menos parcialmente la primera capa (142) incluyendo la segunda capa (140) varias segundas nanovarillas (144).
- 30 11. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 13, en donde las primeras varias nanovarillas (146) en la primera capa (142) están orientadas oblicuamente en el plano YZ y las varias segundas nanovarillas (144) en la segunda capa (140) están orientadas oblicuamente en el plano XZ.
12. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 1, en donde la superficie exterior curvada (14) tiene una primera reflectancia y el conjunto (16) tiene una segunda reflectancia.
13. El sistema de lente oftálmica de la reivindicación 14, en donde la primera reflectancia es mayor que la segunda reflectancia, o en donde la primera reflectancia es menor que la segunda reflectancia.
- 35 14. Un método para formar un sistema de lente oftálmica de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:
proporcionar un cuerpo de lente (12, 152) con una superficie exterior curvada (14);
modificar al menos una parte de la superficie exterior curvada (14) para incluir un primer conjunto (16) que incluye varias nanoestructuras (20) separadas, cubriendo dicho primer conjunto (16) al menos una parte de la superficie exterior curvada (14), caracterizado por que el primer conjunto (16) incluye un sustrato (42) y la etapa de
40 modificación incluye depositar material sobre el sustrato (42) desde una dirección inclinada oblicuamente con respecto al sustrato (14), para formar dichas varias nanoestructuras (20) separadas, que comprenden nanovarillas (44) que se extienden desde dicha parte de la superficie exterior curvada (14), de tal manera que un eje longitudinal central de cada una de dichas varias nanovarillas (44) espaciadas se extiende con un ángulo oblicuo con respecto a la parte correspondiente de la superficie exterior curvada (14).





ÍNDICE VS LONGITUD DE ONDA CON DIFERENTES ÁNGULOS DE EVAPORACIÓN DEL HAZ DE ELECTRONES

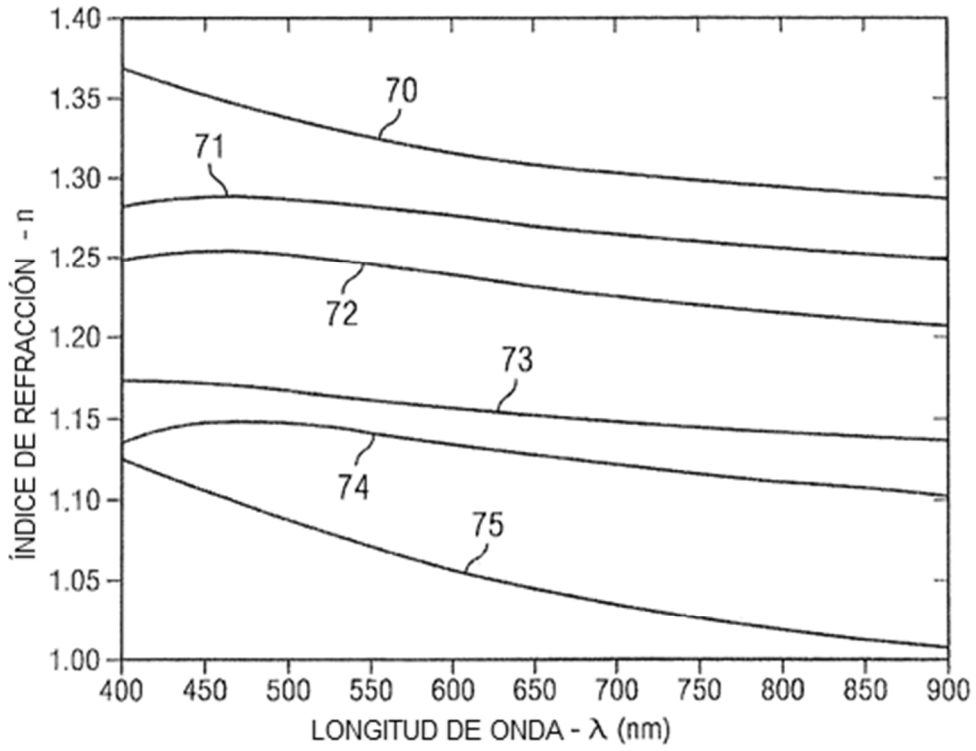


Fig. 7

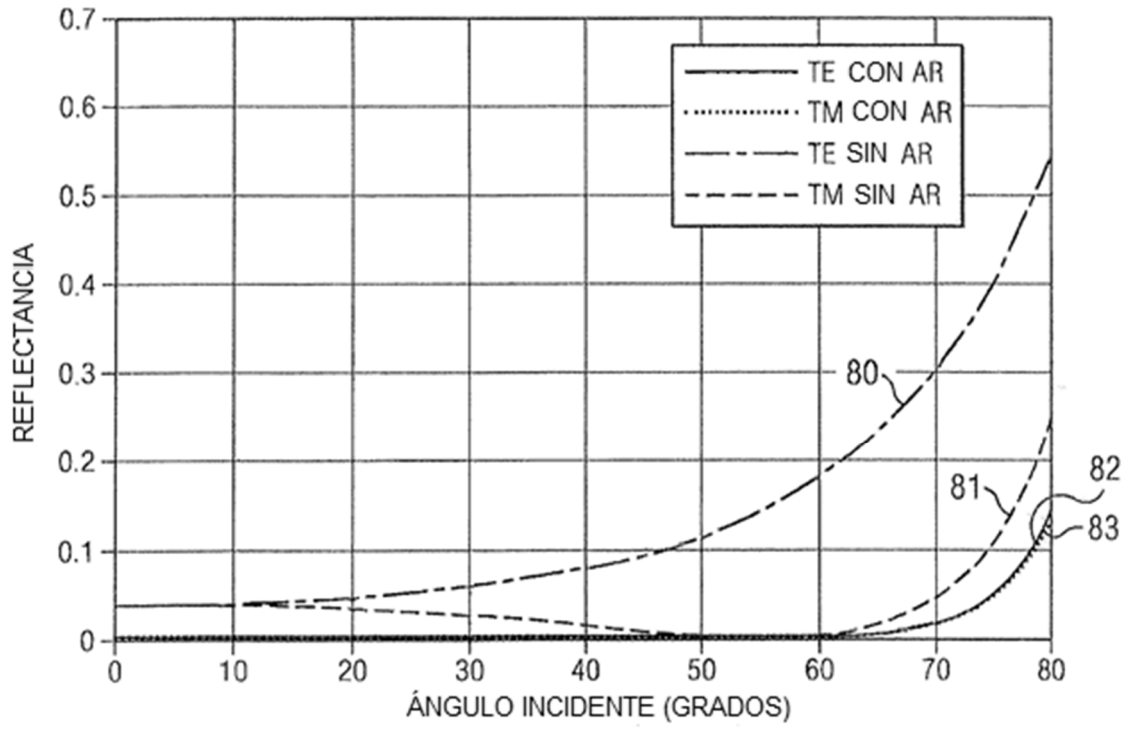


Fig. 8

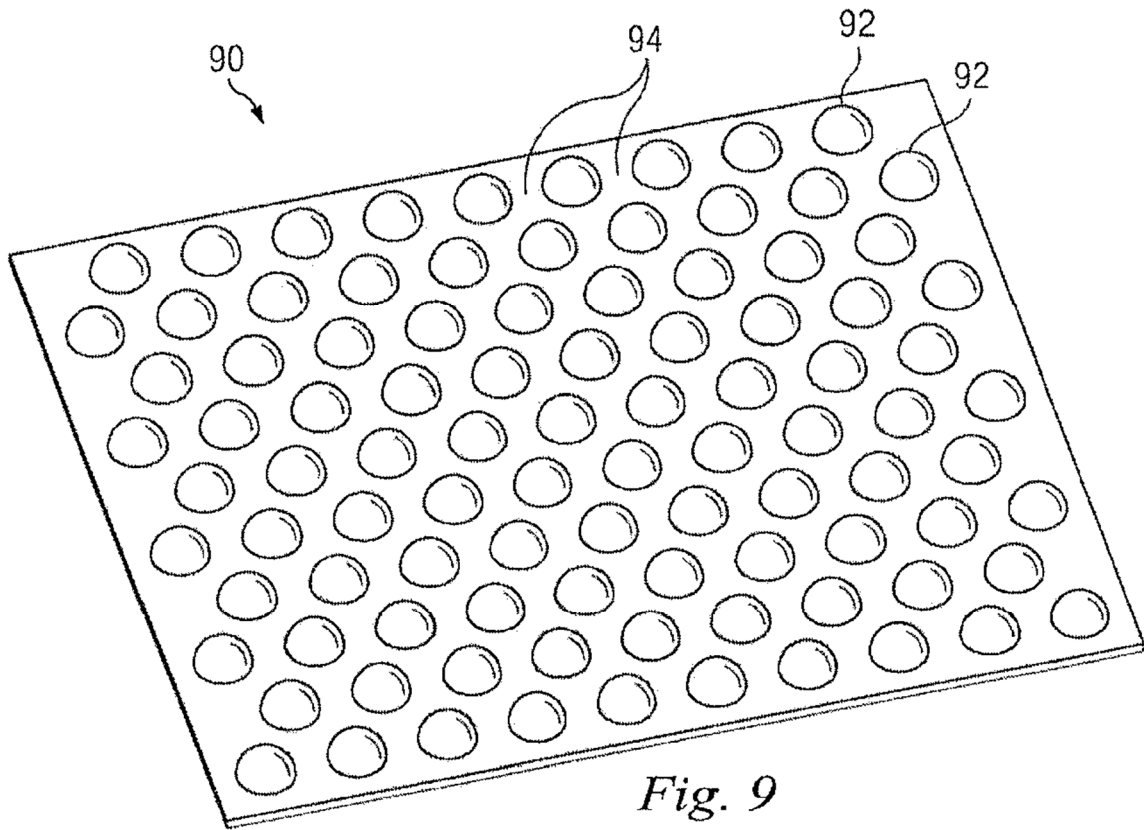


Fig. 9

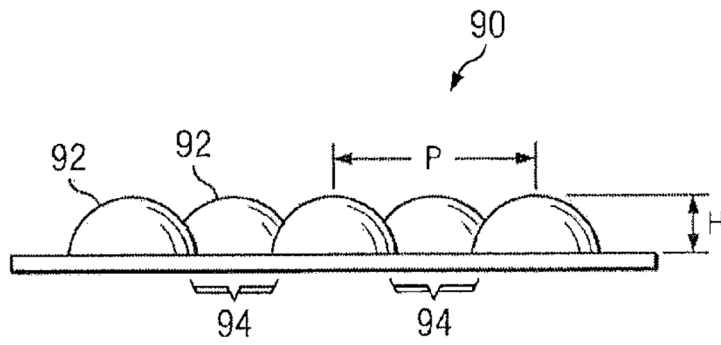


Fig. 10

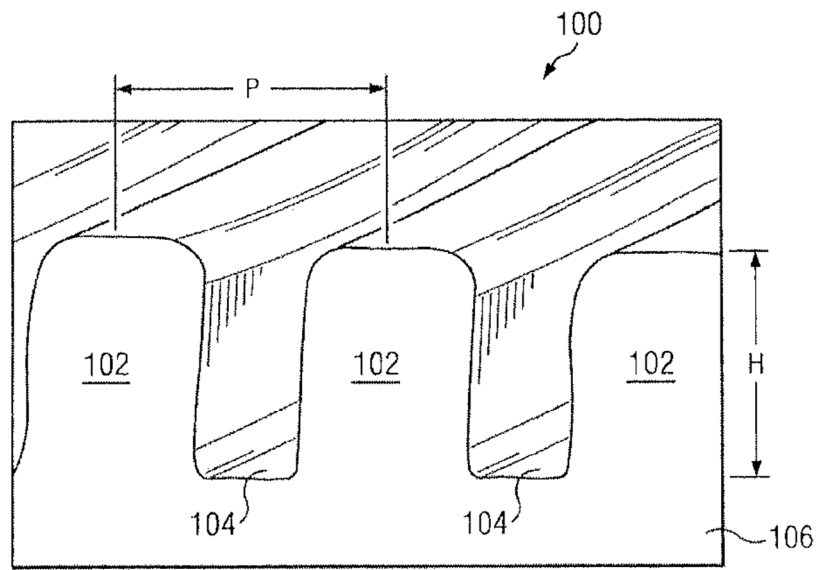


Fig. 11

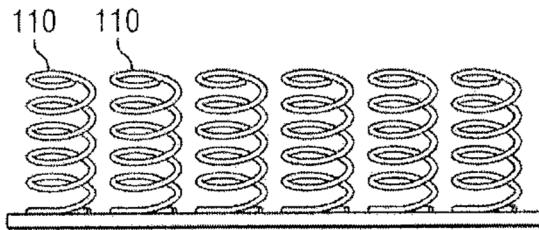


Fig. 12

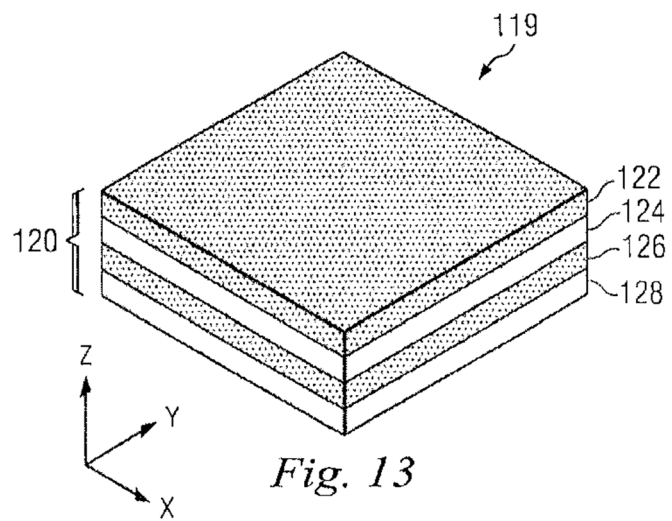


Fig. 13

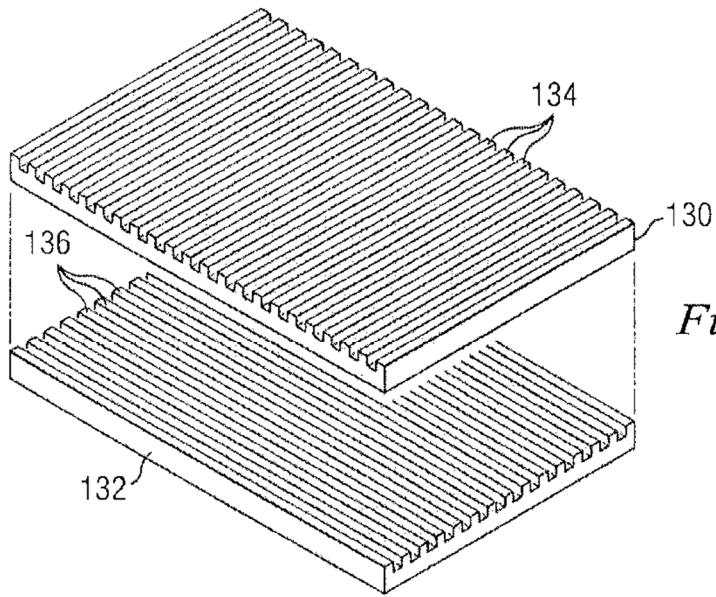


Fig. 14

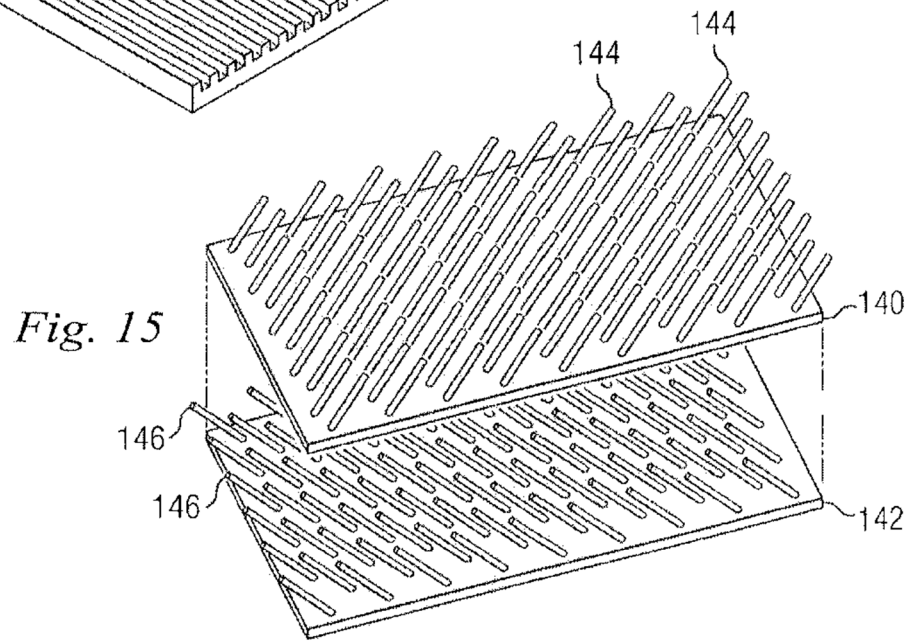


Fig. 15

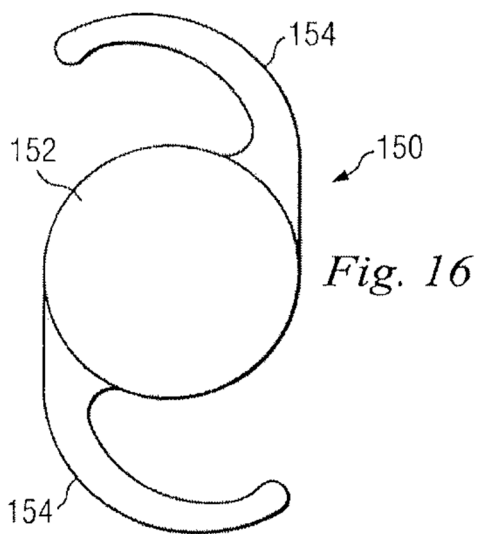


Fig. 16

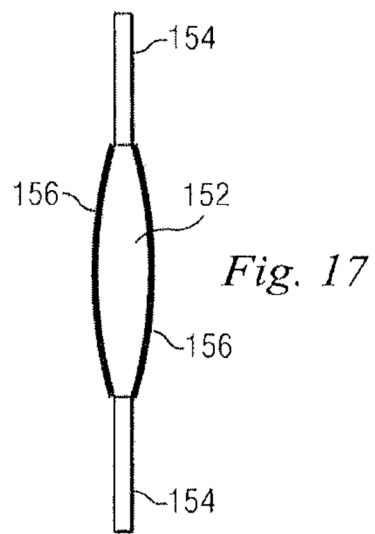


Fig. 17