

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 737 705**

51 Int. Cl.:

**G02B 3/14** (2006.01)

**G02B 26/08** (2006.01)

**H01L 41/08** (2006.01)

**G02B 1/04** (2006.01)

**H01L 41/09** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.07.2015 PCT/EP2015/066491**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16009079**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2015 E 15738685 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 3170037**

54 Título: **Lente óptica con actuador piezoeléctrico**

30 Prioridad:

**18.07.2014 EP 14177688**

**18.07.2014 EP 14177684**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.01.2020**

73 Titular/es:

**POLIGHT ASA (100.0%)**

**P.O.Box 163**

**3192 Horten, NO**

72 Inventor/es:

**CRAEN, PIERRE;**

**PHAIR, JOHN y**

**TALLARON, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 737 705 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

Lente óptica con actuador piezoeléctrico

### 5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención hace referencia a las lentes ópticas y, más concretamente, a una lente óptica con actuador piezoeléctrico y al correspondiente uso y método de fabricación de una lente óptica con actuador piezoeléctrico.

### 10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Hay cada vez más demanda de soluciones de bajo coste y gran volumen para conjuntos de lentes con longitud focal ajustable. Los teléfonos móviles modernos, por ejemplo, están ahora equipados con módulos de cámara digital en miniatura y las exigencias de calidad y los costes para las lentes y los conjuntos de lentes van en aumento. Cada vez más cámaras en miniatura utilizadas en móviles y portátiles tienen función de enfoque automático. El diseño de sistemas de lentes para dichas aplicaciones implica el cumplimiento de un gran número de requisitos que van desde los estándares de producción hasta la facilidad de manejo a la hora de colocar la lente sobre el módulo de la cámara. Estos desafíos son aún mayores cuando la disposición de la lente incluye parámetros ajustables, como los que aparecen en las lentes con enfoque automático, donde hay que ajustar la longitud focal, por ejemplo, para regular la distancia entre la lente y el objeto a fotografiar. Estas lentes suelen tener diseños complejos que incluyen partes móviles que pueden dificultar el montaje de la lente. Otro desafío que presentan estos diseños es el creciente número de requisitos para proporcionar conjuntos de lentes adecuados para tal uso.

Hay diversas soluciones para fabricar elementos compactos para lentes con enfoque automático.

Uno de los problemas de las soluciones actuales es cómo proporcionar una microlente ajustable robusta que pueda fabricarse de forma relativamente eficiente y que proporcione buenas propiedades ópticas.

Así pues, sería ventajosa una microlente ajustable mejorada y, más concretamente, una microlente ajustable que pudiera fabricarse de forma más eficiente y que resultara más robusta y/o más fiable.

### RESUMEN DE LA INVENCION

Puede considerarse objeto de la presente invención proporcionar un elemento de un dispositivo óptico transparente, como una microlente ajustable, que resuelva los problemas arriba mencionados de la técnica anterior.

Puede considerarse también objeto de la presente invención proporcionar una alternativa a la técnica anterior.

Así, se pretende alcanzar el objeto arriba descrito y los demás objetos en un primer aspecto de la invención proporcionando un elemento de dispositivo óptico transparente, tal y como se define en la reivindicación independiente 1, para proporcionar un elemento de dispositivo óptico transparente con suficientes propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas para funcionar como lente ajustable en condiciones atmosféricas.

La invención es particularmente pero no exclusivamente ventajosa para obtener una microlente que pueda fabricarse de forma más eficiente y que pueda resultar más robusta y/o fiable. Los inventores de la presente invención consideran posible integrar una capa barrera antihumedad en el revestimiento antirreflectante, que a su vez permite añadir una capa barrera antihumedad tanto a una zona de abertura como a las zonas de actuadores en un solo paso o mediante un procedimiento de varios pasos. Además, puede considerarse una ventaja que las buenas propiedades ópticas del elemento del dispositivo puedan lograrse integrando la capa barrera antihumedad en un recubrimiento antirreflectante. Además, puede considerarse una ventaja que puedan lograrse mediante un elemento del dispositivo según el primer aspecto buenas propiedades, en general, tales como buenas propiedades eléctricas, mecánicas y/u ópticas.

En una realización específica, que puede ser particularmente sencilla, la composición de la capa de pasivación (como secuencia y tipo y grosores de las subcapas de la capa de pasivación) a lo largo del eje óptico se incluye dentro de o es similar, de tipo idéntico, a una composición de la capa de pasivación a lo largo de una línea (virtual) paralela al eje óptico que corta el actuador piezoeléctrico.

Puede entenderse que esta capa de combinación de pasivación puede ser ventajosamente mejorada para otros requisitos de la lente tales como ser de presión lo suficientemente (ultra) baja como para no afecta al funcionamiento y/o rendimiento de la lente óptica, como una TLens® (poLight, Noruega). Si hay una posibilidad de ajustar la presión de la capa mediante condiciones de deposición, puede hacerse para garantizar el mejor rendimiento.

Además de las propiedades de barrera de la capa de pasivación, puede ser ventajoso también cubrir la abertura óptica con un revestimiento antirreflectante para proporcionar un rendimiento óptico óptimo (como la alta transmitancia a lo largo de la trayectoria óptica, como una transmitancia media de >95 % en el rango visible de 350-700 nm). Esto puede lograrse combinando la capa barrera con una o más capas adicionales. Dado que ambas capas (esto es, la capa

barrera y la capa o capas adicionales) pueden implementarse ventajosamente en la capa de pasivación, puede resultar ventajoso combinar características de las mismas de modo que ninguna capa tenga un impacto negativo sobre otra. Por ejemplo, un revestimiento ópticamente bueno no tiene necesariamente que tener una buena propiedad de protección antihumedad, de igual modo que una buena barrera de protección antihumedad no tiene necesariamente que tener buenas propiedades ópticas. Si bien capas separadas pueden diseñarse según su funcionalidad, esto aumenta la complejidad y los costes del procedimiento, lo cual no es ventajoso. La presente invención puede considerarse ventajosa, puesto que proporciona una solución que permite proporcionar una capa de pasivación que puede cubrir toda la lente (esto es, tanto la abertura como los actuadores) y que combina las propiedades químico-físicas necesarias y las propiedades ópticas necesarias precisas. Nótese que en una realización que puede considerarse sencilla y ventajosa, cada una de las capas barrera y la otra capa o capas pueden colocarse tanto sobre la abertura (cortadas por el eje óptico) como sobre los actuadores piezoeléctricos (para permitir proteger los actuadores piezoeléctricos de la humedad). En una realización más específica, la capa de pasivación tiene una composición similar, de tipo idéntico, a lo largo del eje óptico y por encima de los actuadores piezoeléctricos.

Por "elemento del dispositivo óptico transparente" se entiende un elemento transparente y adecuado para un dispositivo óptico, como una cámara o un escáner o un atenuador o adaptador óptico variable, que pueda colocarse en la trayectoria óptica de un dispositivo óptico.

"Lente óptica" es un elemento conocido en la técnica y, por consiguiente, se comprende. "Óptico" se comprende como relativo a la "luz". La lente óptica puede ser una microlente ajustable conocida como TLens® y que se puede obtener de la empresa poLight (Noruega). La lente óptica puede ser una microlente ajustable correspondiente a la microlente ajustable divulgada en la solicitud de patente WO2008100154 (A1) titulada *"Flexible lens assembly with variable focal length"*.

Se ha divulgado otra lente convencional en el documento US2011/0038028 A1.

"Luz" se entiende que corresponde a la variación electromagnética dentro de un intervalo de longitud de onda correspondiente a la región visible (que los humanos perciben o ven como "luz"), dentro del intervalo 350-700 nm. "Óptico" se debe comprender como relativo a la luz.

"Transparente" se comprende con referencia a la luz, esto es, la luz puede atravesar un objeto transparente, con poca o ninguna pérdida de intensidad, como una pérdida del 10 % o inferior, como del 5 % o inferior, al atravesar el material.

"Abertura" se conoce comúnmente en la técnica y debe entenderse como tal, en particular, como una abertura ópticamente transparente con respecto a la luz visible. Se entiende, además, que la "abertura" ópticamente transparente está delimitada por un material opaco (como unos actuadores piezoeléctricos opacos), puesto que se entiende generalmente que una abertura es un orificio que limita la cantidad de luz que puede penetrar en un instrumento óptico. Por "opaco" se puede entender una transmitancia media del 10 % o inferior, como del 1 % o inferior, como del 0,1 % o inferior, para la luz que atraviesa el material opaco en una dirección paralela al eje óptico "Eje óptico" se comprende comúnmente en la técnica y se entiende que corta el cuerpo de la lente y el miembro de la cubierta, atravesando el cuerpo de la lente y el miembro de la cubierta. En el presente contexto, los actuadores piezoeléctricos pueden estar definiendo la abertura óptica de al menos un cuerpo de lente deformable en el miembro de la cubierta transparente plegable, de forma tal que los actuadores piezoeléctricos estén dispuestos alrededor de o en torno a la abertura óptica.

El cuerpo de la lente puede ser un material deformable, de tipo relativamente blando con respecto a los actuadores piezoeléctricos, y transparente, como un polímero. Por "deformable" puede entenderse que un elemento, como el cuerpo de la lente, puede ser deformado por los actuadores piezoeléctricos, esto es, que la acción de los actuadores piezoeléctricos puede deformar el elemento, de forma tal que sea posible controlar la deformación a través de los actuadores piezoeléctricos.

Por "pared lateral" puede entenderse un elemento de soporte que, al menos en parte, soporta el miembro de la cubierta transparente plegable, como el que soporta el miembro de la cubierta transparente plegable en una zona inmediatamente externa o cercana a la abertura óptica.

El miembro de la cubierta transparente plegable puede ser relativamente fino con respecto al cuerpo de la lente en una dirección longitudinal al eje óptico, por ejemplo, de menos de un 1 mm, como, por ejemplo, de menos de 0,75 mm, como, por ejemplo, de menos de 0,5 mm, como, por ejemplo, de [10; 40] micrómetros (esto es, dentro del rango de 10-40 micrómetros). Puede estar hecho de cristal o de otro material, como cristal cerámico, polímero, polímero híbrido inorgánico, siendo una cubierta de cristal o similar a una cubierta de cristal. Por "plegable" puede entenderse que un elemento, como el miembro de la cubierta transparente plegable, puede doblarse por efecto de los actuadores piezoeléctricos, esto es, la acción de los actuadores piezoeléctricos puede doblar el elemento. El "miembro de la cubierta transparente plegable" puede denominarse, indistintamente, "miembro de la cubierta", "membrana de la cubierta" y "membrana".

Los "actuadores piezoeléctricos" son conocidos en la técnica y se entiende en el presente contexto que incluyen capas

de electrodos en sus distintas configuraciones, como una capa de electrodo (por ejemplo, platino) a cada lado (como, por ejemplo, arriba y abajo) de un material piezoeléctrico, o una capa de electrodo solo en un lado (como, por ejemplo, arriba o abajo) del material piezoeléctrico, como una capa de electrodo que incluya electrodos interdigitados, como, por ejemplo, los electrodos interdigitados descritos en la referencia WO 2014/048818 A1, aquí incluida por referencia en su totalidad. Por “dispuesto para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada” puede entenderse que la forma, el tamaño y la posición de los actuadores con respecto al miembro de la cubierta les permite al ser accionados, por ejemplo, mediante la aplicación de tensión a través de sus electrodos, deformar y, por lo tanto, configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada”. Se entiende que, al menos una parte del miembro de la cubierta que se encuentra en la abertura óptica, como la parte del miembro de la cubierta que atraviesa el eje óptico, toma la forma deseada. “Miembro de la cubierta” y “miembro de la cubierta transparente plegable” pueden emplearse indistintamente. Por “forma deseada” puede entenderse que cuando se pasa de una cierta forma a la forma deseada, la longitud focal de la lente cambia. En algunas realizaciones, los actuadores piezoeléctricos permiten ajustar una curvatura del miembro de la cubierta entre un radio de curvatura de - 200 mm y + 200 mm, como, por ejemplo, de entre - 100 mm y + 100 mm. En general, el radio de curvatura en un punto dado es el radio de un círculo que se ajusta de forma matemáticamente óptima a la curva en dicho punto.

Por “capa de pasivación puede entenderse una capa que incluye múltiples subcapas, y puede entenderse que dicha capa de pasivación hace que la lente óptica sea más “pasiva”, esto es, que se vea menos afectada por factores ambientales como el agua. Esto puede ser ventajoso para una mayor fiabilidad de la lente óptica. La “capa de pasivación” también forma un revestimiento antirreflectante para dicha lente óptica al menos a lo largo del eje óptico. Por “revestimiento antirreflectante” se entiende un revestimiento de la lente óptica que reduce la reflexión media de la lente óptica con respecto a la lente óptica sin revestimiento, esto es, sin la capa de pasivación.

En una realización, la capa de pasivación no incluye material conductor en la abertura óptica. Una ventaja de esto puede ser que la transmitancia no se ve afectada por el material conductor (que suele tener unos coeficientes de absorción más elevados que el material no conductor) en la abertura óptica.

La “capa de pasivación” puede además formar una barrera eléctrica. En otras palabras, la “capa de pasivación” es un aislante eléctrico (aunque incluya capas conductoras (por ejemplo, en algunas zonas en la parte exterior de la abertura óptica). Puede entenderse que las propiedades mecánicas de la lente permiten a la lente óptica funcionar, esto es, que la capa de pasivación no inhibe mecánicamente la ajustabilidad mediante actuadores piezoeléctricos de la lente. En general, se observa que la capa de pasivación (incluida la capa barrera, las capas conductoras opcionales, la capa o capas adicionales) puede no tener un impacto negativo significativo sobre el funcionamiento y el rendimiento básicos de la lente óptica. Por ejemplo, pueden presentarse realizaciones donde:

- las tensiones no sean demasiado altas como para afectar a la curvatura del miembro de la cubierta de forma que este no pueda ser accionado de forma correcta, y/o

- los materiales de la capa de pasivación no sean demasiado duros (como, por ejemplo, de dureza, según la escala de Mohs, superior a 9 y/o resistentes a los rasguños), rígidos y/o gruesos como para impedir el movimiento natural de la membrana, etc., incluida la inducción de distorsiones ópticas no deseadas.

La “capa de pasivación” puede, por lo tanto, permitir proporcionar un elemento de dispositivo óptico transparente con suficientes propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas para funcionar en situaciones prácticas como lente ajustable en condiciones atmosféricas.

Por “capa barrera” puede entenderse una capa que forma una barrera para un elemento, como, por ejemplo, una barrera antihumedad que forma una barrera contra el agua. Puede entenderse que una capa barrera forma una barrera entre un volumen de un lado y otro volumen de otro lado de la barrera. Por ejemplo, una capa barrera en un transductor piezoeléctrico forma una barrera entre el transductor piezoeléctrico y el volumen que se encuentra al otro lado de la barrera, esto es, el entorno.

Puede entenderse que la capa barrera no es conductora. Una ventaja de ello puede ser que la capa barrera puede colocarse en todas partes (en la abertura óptica y en los actuadores piezoeléctricos que definen la abertura óptica, sin necesidad de colocar un material conductor en la abertura óptica, lo cual degradaría las propiedades ópticas).

En el presente contexto, la capa de pasivación puede entenderse como una capa relacionada con la protección de una clase de piezoactuadores de óxido inorgánico comúnmente usados, tales como PZT, PNZT, PLZT, PLT, PNLZT, etc.; incluidos los osciladores de relajación ferroeléctricos, tales como PZN-PT, PMN-PT, PSN-PT, PYbN-PT, etc.; y materiales sin plomo tales como BT, BST, NBT, KBT, KNN, KMN, BFO y sus sistemas, tales como NBT-KBT, NBT-KNN, NBT-BT, NBT-BFO, KBT-BT, KNN-BT, KNN-KCNx, etc., y los problemas de degradación específicos relacionados con la naturaleza físico-química única de los óxidos PZT y sus electrodos (por ejemplo, Pt, Ru, Ir, Ag, Au, TiW), concretamente si el electrodo tiene propiedades catalíticas, por ejemplo, Pt. Puede considerarse ventajoso si la capa de pasivación y/o la capa barrera forman una barrera robusta y estable contra el hidrógeno y el H<sub>2</sub>O en sus diversas formas.

La "capa barrera" puede tener un coeficiente de transmisión de vapor de agua (WVTR) inferior a  $10^{-2}$  g/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

La "capa barrera" no es necesariamente una única capa, pero puede incluir múltiples subcapas. En ciertas realizaciones, la capa barrera incluye múltiples subcapas. Esto puede ser ventajoso para formar una barrera con respecto a múltiples elementos/especies (como el agua y el hidrógeno) que podría no lograrse necesariamente mediante una sola capa única y homogénea.

La capa barrera puede, en general, formar también una barrera eléctrica, como, por ejemplo, una barrera para impedir el transporte a través de la barrera de partículas cargadas que pudieran ocasionar un cortocircuito o cualquier otro mecanismo de degradación eléctrico.

Puede entenderse que la "capa barrera" puede, en ciertas realizaciones, ser densa, donde "denso" puede entenderse como "que cubre totalmente" los actuadores piezoeléctricos y opcionalmente las áreas de los electrodos.

Puede entenderse también que la capa barrera puede tener una baja porosidad, por ejemplo, inferior a 1,0 % en volumen, por ejemplo, inferior a 0,5 % en volumen. Una ventaja de ello puede ser que facilita, haciendo posible, impedir la transmisión de especies potencialmente degradantes, como el hidrógeno y/o el agua.

La "capa barrera" puede ventajosamente estar recubierta por un método de deposición conformal y/o ser lo suficientemente gruesa como para cubrir cualquier parte expuesta de los actuadores piezoeléctricos y, opcionalmente, los electrodos, como las paredes laterales u otras partes cóncavas. La capa barrera puede ventajosamente no tener o tener muy bajo contenido en hidrógeno (como, por ejemplo, 1 % en peso o menos).

Por "una o más capas adicionales" puede entenderse una única capa o varias capas adicionales. Una ventaja de la capa o las capas adicionales puede ser que estas pueden proporcionar una mejora de la propiedad antirreflectante de la capa de pasivación. La capa o las capas adicionales puede entenderse que están cada una de ellas sobre la capa barrera.

Puede entenderse, en general, que cualquier capa en el presente contexto es relativamente fina, siendo la dimensión dentro del plano mayor que la dimensión fuera del plano, donde la dimensión fuera del plano puede ser paralela al eje óptico. Por "colocado en" o "situado en" se puede entender que una capa o elemento se encuentra sobre otra capa o elemento, como las capas o elementos que se solapan cuando se observan en la dimensión fuera del plano. Así, "colocado en" y "situado en" pueden utilizarse indistintamente y pueden alternarse, también indistintamente, con "colocado sobre" y "situado sobre". Se entiende, sin embargo, que una capa o elemento situado en otra capa o elemento pueden o no estar en contacto directo, esto es, puede haber o no una capa intermedia. Puede entenderse en general que cuando una capa dentro de la capa de pasivación se coloca sobre el miembro de la cubierta, se coloca sobre una porción del miembro de la cubierta cortada por el eje óptico, como por ejemplo en una porción del miembro de la cubierta correspondiente a la abertura óptica. Cuando se implica una dirección, como por ejemplo cuando se emplean los términos "por encima de" o "por debajo de" o "sobre" o "bajo", se entiende en general que se define una dirección positiva desde el cuerpo de la lente hacia el miembro de la cubierta. Por ejemplo, el miembro de la cubierta está por encima del cuerpo de la lente, como por ejemplo, sobre el cuerpo de la lente. Puede entenderse que la capa de pasivación se encuentra sobre la cara opuesta del miembro de la cubierta, que el cuerpo de la lente. Así pues, la capa de pasivación se encuentra por encima del miembro de la cubierta, por ejemplo, sobre el miembro de la cubierta. Una primera capa en la capa de pasivación que se encuentra por encima de o sobre una segunda capa se encuentra aún más alejada del cuerpo de la lente que la segunda capa.

Puede entenderse que una capa "colocada en" o "situada en" otra capa u otro elemento puede no necesariamente cubrir por completo la otra capa o el otro elemento, cubriendo la otra capa o el otro elemento solo parcialmente, o cubriendo solo una porción de la otra capa o de otro elemento. En ciertas realizaciones, la otra capa puede estar totalmente cubierta.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la capa de pasivación comprende (véase la FIG. 18 o la FIG. 19):

- una subcapa primaria ubicada en dicho miembro de la cubierta, cortada por el eje óptico, y

- una o más subcapas secundarias ubicadas en dicho miembro de la cubierta, como, por ejemplo, a ambos lados de la subcapa primaria, estando dicha subcapa o dichas subcapas secundarias cortadas por el eje óptico,

y donde la subcapa primaria es más gruesa que la subcapa o subcapas secundarias, por ejemplo, al menos el doble de gruesa, por ejemplo, al menos el triple de gruesa, por ejemplo, al menos cuatro veces más gruesa, por ejemplo, al menos 5 veces más gruesa, por ejemplo, al menos 7,5 veces más gruesa, por ejemplo, al menos 10 veces más gruesa, y donde la subcapa primaria está situada entre:

- al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, y

- al menos una porción de la subcapa o subcapas secundarias.

Cada grupo de subcapas secundarias (como por ejemplo el grupo de la subcapa o subcapas secundarias por encima de la subcapa primaria y/o el grupo de la subcapa o subcapas secundarias por debajo de la subcapa primaria) puede considerarse un recubrimiento sub-antirreflectante con referencia a la subcapa primaria. Por "revestimiento sub-antirreflectante" se puede entender una o más capas que mejoran, en general, una propiedad antirreflectante de la capa de pasivación, esto es, la presencia de esta capa o capas resulta en un menor coeficiente de reflexión para la luz a lo largo del eje óptico de la capa de pasivación y, por lo tanto, del dispositivo óptico transparente.

La subcapa primaria puede ser más gruesa que la subcapa o subcapas secundarias, como, por ejemplo, el grupo de una o más subcapas secundarias, de modo que puede considerarse el grueso del sustrato a efectos de la función óptica y del rendimiento óptico de la subcapa o subcapas secundarias y/o de modo que no afecte a ni interfiera con el rendimiento óptico de la subcapa o subcapas secundarias. Se puede entender, en general, que la subcapa primaria es relativamente gruesa con respecto a la subcapa o subcapas secundarias. Se puede entender, en general, que las subcapas secundarias son relativamente finas con respecto a la subcapa primaria. Así pues, la "subcapa primaria" puede denominarse indistintamente "subcapa relativamente gruesa". Así pues, la "subcapa secundaria" y las "subcapas secundarias" pueden denominarse indistintamente "subcapa(s) relativamente fina(s)".

Una ventaja de esto puede ser que la subcapa primaria puede ser de grosor variable o tolerar variaciones de grosor inducidas por procesado. Una ventaja de esto u otra ventaja puede ser que la subcapa primaria puede estar colocada en una posición en la capa de pasivación donde, durante el procesado, esté expuesta a varios pasos, como pasos de impresión, que pueden implicar que la subcapa primaria sufra una reducción de grosor, que puede no ser fácilmente controlable (esto es, introducir variaciones de grosor que, aunque sean relativamente pequeñas en una escala absoluta, pueden influir en las propiedades ópticas, concretamente si la capa afectada es relativamente fina). Sin embargo, dado que la subcapa primaria es relativamente gruesa, con respecto a la subcapa o subcapas secundarias, estas posibles variaciones de grosor un tanto incontrolables pueden, hasta cierto punto, ser absorbidas por la subcapa primaria, dado que las variaciones de grosor relativo son relativamente pequeñas, en comparación con una situación donde una subcapa secundaria (más fina) sufriera las mismas variaciones de grosor (en una escala absoluta). Concretamente, las capas ópticas (como las capas que corta el eje óptico en el elemento óptico acabado) que tienen capas adicionales depositadas encima durante la fabricación, cuyas capas adicionales deben ser retiradas, se verán afectadas inadvertidamente por una reducción de grosor cuando estas capas sean retiradas. Esto puede compensarse ventajosamente mediante el diseño, de modo que el revestimiento antirreflectante (ARC), como el revestimiento antirreflectante total (ARC) de la membrana de la cubierta transparente plegable, (donde se entiende que ARC denota la porción de la capa de pasivación situada sobre la abertura, como, por ejemplo, la porción de la capa de pasivación que pueden cortar los rayos ópticos que también cortan la abertura durante el uso normal de la lente, de forma que sea atravesada al menos por el eje óptico) no sea demasiado sensible a las variaciones de grosor de algunas o de todas las capas de la pila, más concretamente, cuando las capas depositadas encima de ella sean retiradas. Esto puede lograrse con una subcapa primaria, que puede verse afectada por las variaciones de grosor durante la fabricación, y sobre ella una o más subcapas secundarias (más finas) que pueden mejorar las propiedades ópticas.

Se dan a continuación dos ejemplos específicos de cómo puede realizarse esto:

1. Las primeras dos capas de la capa de pasivación/ARC se depositan en la membrana de la cubierta transparente, siendo la primera capa (p. ej., la capa barrera) relativamente fina (< 100 nm) y la segunda relativamente gruesa (> 300 nm, como, por ejemplo, > 500 nm, como, por ejemplo, > 1000 nm). La segunda capa - la subcapa primaria - está diseñada para absorber las variaciones de grosor debidas a la deposición de múltiples capas adicionales como capas de electrodos conductores y capas de compensación y su retirada (y sobreimpresión). El ARC puede estar simulado para incluir las variaciones de grosor previstas de esta capa en su evaluación de rendimiento. Se colocan a continuación una o más subcapas secundarias en la porción del ARC sobre la segunda subcapa primaria por encima de la abertura.

2. Las primeras dos capas de la capa de pasivación/ARC se depositan sobre el actuador piezoeléctrico, siendo la primera capa (p. ej., la capa barrera) relativamente fina (< 100 nm) y la segunda relativamente gruesa (> 300 nm, como, por ejemplo, > 500 nm, como, por ejemplo, > 1000 nm). La segunda capa - la subcapa primaria - está diseñada para absorber las variaciones de grosor debidas a la deposición de múltiples capas adicionales como capas de electrodos conductores y capas de compensación y su retirada (y sobreimpresión). El ARC está simulado para incluir las variaciones de grosor previstas de esta capa en su evaluación de rendimiento.

En una realización, la subcapa primaria también está situada debajo de las otras capas añadidas (las cuales pueden ser denominadas "capas intermedias"), como por ejemplo capas de contacto de metal y/o capas de compensación de la presión, como, por ejemplo, debajo de todas las subcapas secundarias (más finas) y debajo de las otras capas añadidas, como por ejemplo capa de contacto de metal y/o capas de compensación de la presión (véase la FIG. 19). Por "capa de compensación de la presión" se entiende una capa con una presión integrada que compensa la presión de cualquier otra parte del dispositivo. La capa de compensación de la presión puede realizarse a través del "elemento de estructura" mencionado en otra parte de la presente aplicación. Así, el elemento de estructura puede ser, sin estar

limitado a ello, una capa de compensación de la presión. La capa de compensación de la presión puede variar en cuanto a la presión, de -600 a +600 MPa, y el grosor, de 0,01 a 10  $\mu\text{m}$  (micrómetros).

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la capa de pasivación está dispuesta de manera que forma una barrera de hidrógeno que cubre al menos una porción de los actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, cubriendo totalmente los actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, al menos una porción de los actuadores piezoeléctricos y dicha porción de dicho miembro de la cubierta se encuentra cortada por el eje óptico, como, por ejemplo, cubriendo totalmente tanto los actuadores piezoeléctricos como dicho miembro de la cubierta. Puede implementarse una barrera de hidrógeno de diversas formas, por ejemplo, implementando una capa barrera que sea una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno, y/o añadiendo una capa separada que forme una barrera de hidrógeno. Una ventaja de añadir una barrera de hidrógeno puede ser que evita la necesidad de seleccionar materiales (como los materiales de electrodo) capaces de soportar el hidrógeno y/o que puede emplearse durante los procedimientos (como, por ejemplo, durante la fabricación) en los cuales está presente el hidrógeno.

Por "barrera de hidrógeno" se entiende una barrera que impide la difusión del hidrógeno a través de la barrera o que permite la difusión de solo pequeñas cantidades a una velocidad tan baja que su presencia se considera insignificante, como, por ejemplo, una permeabilidad del hidrógeno (dada en unidades de moles-  $\text{H}_2 \text{ m}^{-2} \text{ seg}^{-1}$ ) inferior a  $1 \times 10^{-11}$ , como, por ejemplo, inferior a  $1 \times 10^{-12}$ , como, por ejemplo, inferior a  $1 \times 10^{-15}$ . Se entiende que todos los valores de permeabilidad del hidrógeno indicados están definidos en condiciones atmosféricas estándar, bajo de aire atmosférico y a temperatura ambiente estándar, como, por ejemplo, 20 grados Celsius, y a una presión de 100 kPa, y a un 50 % de humedad relativa.

En realizaciones ejemplares, dichas barreras de hidrógeno pueden ser de cualquiera de los siguientes elementos: Óxido de aluminio, óxido de silicio, oxinitruro de silicio, óxido de tantalio, óxido de hafnio, carburo de titanio, nitruro de titanio, carburo de silicio, nitruro de boro, nitruro de tantalio, nitruro de titanio aluminio, o oxinitruro de titanio aluminio, por ejemplo, óxido de aluminio con un grosor de 20 nm o nitruro de titanio con un grosor de 100 nm.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde una o más zonas de la capa de pasivación sobre uno o más actuadores piezoeléctricos comprende una capa conductora de la electricidad, como, por ejemplo, una capa de metal, como Au o AlCu, como, por ejemplo, una capa que comprende Au/TiN o Au/TaN o AlCu/TiN, que permite acceder eléctricamente al actuador o a los actuadores piezoeléctricos, y/o una capa de compensación de la presión, donde dicha capa conductora de la electricidad y/o dicha capa de compensación de la presión esté situada entre:

- al menos una porción de la capa barrera

y

- al menos una porción de la capa o capas adicionales.

Una ventaja de ello puede ser que la lente óptica pueda estar protegida por la capa barrera durante el procesado con relación a la capa conductora de la electricidad y/o que dicha capa de compensación del estrés, mientras que la capa o las capas adicionales restantes, mediante su posición, puedan ser depositadas tras dicho procesado y por lo tanto no se vean afectadas por el mismo.

Alternativamente, dicha capa conductora de la electricidad está colocada sobre la capa de pasivación, de forma que dicha capa conductora de la electricidad está más alejada del miembro de la cubierta que las otras capas, como, por ejemplo, todas las otras capas, en la capa de pasivación. En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde una o más zonas de la capa de pasivación sobre uno o más actuadores piezoeléctricos comprende una capa conductora de la electricidad, como, por ejemplo, una capa de metal, como Au o AlCu, como, por ejemplo, una capa que comprende Au/TiN o Au/TaN o AlCu/TiN, que permite acceder eléctricamente al actuador o a los actuadores piezoeléctricos, donde dicha capa conductora de la electricidad esté situada sobre:

- al menos una porción de la capa barrera

y

- al menos una porción de la capa o capas adicionales.

En otra realización adicional, la capa de pasivación comprende además una capa de compensación de la presión situada debajo de la capa conductora de la electricidad.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde una o más zonas de la capa de pasivación sobre uno o más actuadores piezoeléctricos comprende una capa conductora de la electricidad, que permite acceder eléctricamente al actuador o a los actuadores piezoeléctricos, y/o una capa de compensación de la presión (742), donde dicha capa conductora de la electricidad y/o dicha capa de compensación de la presión (742)

esté situada entre:

- al menos una porción de la capa barrera y la subcapa primaria,

y

- al menos una porción de la subcapa o subcapas secundarias.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde una o más áreas de la capa de pasivación por encima de uno o más actuadores piezoeléctricos comprende una capa de compensación de la presión, donde dicha capa de compensación de la presión está situada entre:

- al menos una porción de la capa barrera

y

- al menos una porción de la capa o capas adicionales.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, que comprende además al menos un elemento de estructura (742) ubicado sobre dichos actuadores piezoeléctricos (206, 208, 210) y alrededor de dicha abertura óptica (632);

donde dicho elemento de estructura (742) tiene un diámetro exterior de entre el diámetro del miembro de la cubierta transparente plegable (104) y el diámetro de dicha abertura óptica (632); y

donde dicho miembro de la cubierta transparente plegable (104) está adaptado para proporcionar estabilidad mecánica al elemento del dispositivo óptico transparente (700) y para permitir ajustar la curvatura del miembro de la cubierta transparente plegable (104) entre un radio de curvatura negativo y un radio de curvatura positivo.

La idea básica del “elemento de estructura” es proporcionar un dispositivo óptico transparente, como, por ejemplo, una microlente ajustable, con un elemento de estructura que proporcione estabilidad mecánica y térmica y ajustabilidad de la curvatura de un miembro de la cubierta transparente plegable ubicado en un cuerpo de lente deformable, donde la forma, el tamaño y la posición, esto es, la extensión de la estructura sobre las capas subyacentes, determine la ajustabilidad de la curvatura del cuerpo de lente deformable. Se observa, además, que dicho “elemento de estructura” puede en concreto ser ventajoso en combinación con una capa de pasivación según se describe en reivindicaciones independientes de la presente invención, puesto que dicha capa de pasivación y su método de formación permiten la integración de un “elemento de estructura” en el dispositivo, mitigando al tiempo cualquier influencia negativa en términos de propiedades ópticas y sensibilidad al procesado y a las condiciones atmosféricas, que, de lo contrario, puede ser el resultado del procesado relativo a dicho elemento de estructura. Se observa que al menos el elemento de estructura puede implementarse en diversas formas y en diversos tamaños, lo cual puede optimizarse según el objetivo, por lo que el elemento de estructura puede ser denominado elemento de estructura variable.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde al menos dicho cuerpo de lente deformable comprende polímero. En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde al menos dicho cuerpo de lente deformable comprende una red polimérica de polímeros entrecruzados o parcialmente entrecruzados y un aceite miscible o una combinación de aceites. En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde al menos dicho cuerpo de lente deformable puede tener un módulo elástico mayor de 300 Pa, un índice de refracción por encima de 1,35, y una absorbancia en el rango visible inferior al 10 % por milímetro de grosor.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde al menos dicho elemento de estructura es una capa de compensación térmica, como, por ejemplo, una capa con la función de proporcionar compensación a la expansión térmica inducida por los cambios de temperatura en la estructura de múltiples capas del elemento del dispositivo óptico transparente. Así pues, el elemento de estructura específico no es una capa de refuerzo, sino que puede ser una capa de compensación térmica que puede ajustarse para proporcionar compensación térmica al elemento del dispositivo óptico transparente.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde al menos dicho elemento de estructura tiene un grosor de entre 0,03  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ . En una realización se proporciona elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicho ajuste de la curvatura se encuentra entre un radio de -200 mm y +200 mm.

En otra realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la capa conductora de electricidad forma una barrera de hidrógeno y/o una barrera antihumedad. Una ventaja de ello puede ser que en un punto de contacto eléctrico con los actuadores piezoeléctricos, donde la capa conductora de electricidad puede penetrar la capa barrera, los actuadores piezoeléctricos no sufrirán por la exposición al hidrógeno ni/o a la humedad. En una realización, la capa conductora de electricidad comprende un nitrato de metal, como TiN, TiC, TaC, TaN, TiAlN



o TiAlON, para proporcionar una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno.

La capa conductora de electricidad puede comprender, estando formada por, un material que, por razones prácticas, sea un material no oxidable, siendo no oxidable. Una ventaja de esto puede ser que ello puede permitir el montaje eléctrico directo del dispositivo sin necesidad de materiales ni capas adicionales para formar un contacto eléctrico fiable.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicha capa de pasivación comprende además una capa de nitruro de metal conductora de electricidad que cubre al menos parcialmente uno o más actuadores piezoeléctricos, formando una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno. El nitruro de metal puede ser cualquier nitruro de metal seleccionado de la lista que comprende y está formada por: TiN, TiC, TaC, TaN, TiAlN, y TiAlON.

En una realización, que puede ser combinada con otra realización, se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicha capa barrera comprende uno o más materiales elegidos del grupo que comprende y está formado por:

- óxidos de metal, como cualquiera de los siguientes:  $Al_xO_y$  (donde x e y corresponden a un número real entre 0 y 5, como x = 2 e y = 3),  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $TiO_2C$ ,  $BaTiO_3$ ,  $SrTiO_3$ ,  $HfO$ ,  $Ta_2O_5$ ,
- carburos, como: SiC, SiOC,
- óxidos de metaloides, como:  $SiO_2$ , SiOF,  $GeO_2$ , SiON,
- fluoruros, como:  $LiF_2$ ,  $MgF_2$ ,  $ThF_4$ ,  $CeF_3$ ,  $PbF_2$
- sulfuros, como: ZnS,
- seleniuros, como: ZnSe,
- otros óxidos, como cualquiera de los siguientes: MgO,  $Y_2O_3$ ,  $Sc_2O_3$ ,  $CeO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ,
- o nanolaminados (esto es, estructura multicapa con grosor de capa individual inferior a 100 nm, como, por ejemplo, inferior a 10 nm) de dos o más de los materiales arriba mencionados,

La "capa barrera" puede tener un coeficiente de transmisión de vapor de agua (WVTR) inferior a  $10^{-2}$  g/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la capa barrera cubre completamente los actuadores piezoeléctricos incluidos los laterales de uno o más actuadores piezoeléctricos.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicho elemento del dispositivo óptico transparente, como, por ejemplo, el elemento del dispositivo óptico transparente con la capa de pasivación tiene una transmitancia media del 95 % o más, como, por ejemplo, del 98 % o más, como del 99 % o más, para la luz que viaja por el eje óptico. Una ventaja de esto puede ser que facilita la pérdida de menos luz cuando esta viaja por el elemento del dispositivo óptico, como, por ejemplo, como el dispositivo óptico con la capa de pasivación. En realizaciones generales, dicho elemento del dispositivo óptico transparente tiene una transmitancia media del 90 % o más, como, por ejemplo, del 92 % o más, como, por ejemplo del 93 % o más, como, por ejemplo, del 94 % o más.

Por "transmitancia", como, por ejemplo, la transmitancia especular o la transmitancia regular, puede entenderse, en el presente contexto de transmitancia con respecto al elemento del dispositivo óptico transparente, como, por ejemplo el elemento del dispositivo óptico transparente con la capa de pasivación, como el radio entre

- la luz que incide sobre el elemento del dispositivo óptico transparente a lo largo del eje óptico, y
- una porción de la luz que incide en el elemento del dispositivo óptico transparente, la cual es transmitida a través del elemento del dispositivo óptico transparente y emitida en el otro lado como luz transmitida especularmente (regularmente).

Puede entenderse en general cuando se hace referencia a las propiedades ópticas dentro de esta aplicación, que la propiedad óptica se aplica a la luz que viaja por el eje óptico, como, por ejemplo, por la abertura óptica, como, por ejemplo, con un ángulo de incidencia dentro del rango de 0-40° con respecto al eje óptico, como, por ejemplo, con una longitud de onda de entre 350-700 nm. Por "medio" con respecto a una propiedad óptica, se entiende un promedio de dicha propiedad para longitudes de onda de entre 350-700 nm.

Los requisitos ópticos para la capa barrera podrían extenderse a cualquier capa de pasivación que se encontrara

dentro de la trayectoria óptica y se usara para formar el recubrimiento antirreflectante.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde

- 5 - dicho elemento del dispositivo óptico transparente tiene una transmitancia media del 95 % o más, como, por ejemplo, del 98 % o más,
- una transmitancia mínima por encima del rango visible es del 94 % o más (medida en un ancho de banda de 5 nm o inferior), y/o donde
- 10 - una reflectividad media por encima del rango visible es del 2,5 % o inferior, como, por ejemplo, del 1 % o inferior.

Para lograr una película de ARC del rendimiento indicado en la anterior especificación, puede considerarse ventajoso que las propiedades ópticas de cada capa individual de la pila, por ejemplo, la capa o capas adicionales, por ejemplo, la subcapa primaria y/o la subcapa o subcapas secundarias, como, por ejemplo, la porción de la capa de pasivación cortada por el eje óptico, sean proporcionadas por una o más de, o por todas, las siguientes propiedades (como es el caso en algunas realizaciones):

- 20 - El coeficiente de absorción medio ( $k$ ) debe ser preferentemente inferior a  $0,01 \text{ cm}^{-1}$ , como, por ejemplo,  $0,001 \text{ cm}^{-1}$ , a lo largo del espectro de luz visible, y opcionalmente sin fuertes variaciones pico por encima de este valor,
- el índice refractivo (RI): Las capas deben preferentemente encontrarse en cualquiera de las dos, o posiblemente más, categorías de RI, que difieren típicamente en más de 0,2, como, por ejemplo, en más de 0,3, como, por ejemplo, en más de 0,4 para poder diseñar un ARC de alto rendimiento por encima de la región de longitud de onda óptica útil mediante simulación. Por ejemplo, puede haber dos categorías de RI que tengan bien un RI alto (por ejemplo,  $n > 1,5$ ) o un RI bajo (por ejemplo,  $n < 1,5$ ) con una diferencia entre los dos valores de 0,2 o mayor,
- 25 - la variación de grosor relativa de cada capa a lo largo de la capa debe ser inferior al 10 %, como, por ejemplo, inferior al 5 %, como, por ejemplo, inferior al 2,5 %.

En una realización, que puede combinarse con cualquier otra, se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la capa o capas adicionales, como, por ejemplo, la subcapa primaria y/o la subcapa o subcapas adicionales secundarias, comprenden uno o más materiales elegidos de entre el grupo que comprende y está formado por:

- 35 - óxidos de metal, como cualquiera de los siguientes:  $\text{Al}_x\text{O}_y$  (donde  $x$  e  $y$  corresponden a un número real entre 0 y 5, como  $x = 2$  e  $y = 3$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2\text{C}$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{HfO}$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$
- carburos, como:  $\text{SiC}$ ,  $\text{SiOC}$ ,
- 40 - óxidos de metaloides, como:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiOF}$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{SiON}$ ,
- fluoruros, como:  $\text{LiF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{ThF}_4$ ,  $\text{CeF}_3$ ,  $\text{PbF}_2$
- 45 - sulfuros, como:  $\text{ZnS}$ ,
- seleniuros, como:  $\text{ZnSe}$ ,
- 50 - otros óxidos, como cualquiera de los siguientes:  $\text{MgO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnOe}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Er}_2\text{O}_3$
- materiales plasma-polimerizados como los hidrocarburos plasma-polimerizados (PPHC), organosilíceos plasma-polimerizados (PPOS) y fluorocarburos plasma-polimerizados (PPFC)
- 55 - materiales poliméricos como el poliácido (PMMA), parileno, polietileno, polipropileno, poliestireno, poli(etileno tereftalato), poli(éter sulfona), polietileno naftalato, poliimida y variantes de los mismos
- carbono amorfo, carbono como diamante, grafeno u otros alótropos de carbono
- 60 - porosos (con densidad  $< 98$  %, como, por ejemplo, con densidad inferior al 90 %, como, por ejemplo, con densidad inferior al 60 %, como, por ejemplo, con densidad inferior al 40 %) o microestructuralmente morfológicamente alterados (por ejemplo, superficie alterada con micronanolasas o micronanobolas)

En una realización específica, la capa o capas adicionales comprenden  $\text{SiO}_2$  como material de índice refractivo bajo y  $\text{SiON}$  como material de índice refractivo alto para el ARC, mientras otra realización específica tiene  $\text{SiO}_2$  como material de índice refractivo bajo y  $\text{SiOC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HfO}$ ,  $\text{TiO}_2$  o  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  como material de índice refractivo alto. Los grosores relativos, el número de capas y las secuencias de las capas pueden determinarse mediante simulación óptica para los

datos específicos de cada capa (valores  $n, k$ ) e interfaces ópticas definidas de superficie inferior y superior.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicha capa de pasivación tiene

- un coeficiente de absorción medio  $k$ , de  $0,01 \text{ cm}^{-1}$  o inferior, como, por ejemplo, de  $0,001 \text{ cm}^{-1}$  o inferior, y/o

- una reflectividad del 2,5 % o inferior, como, por ejemplo, del 1 % o inferior, para la luz que viaja por el eje óptico.

Tener una baja absorbancia y/o una baja reflexión puede ser beneficioso en sí mismo, puesto que estos dos valores bajos pueden servir para optimizar la transmitancia.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicha capa de pasivación facilita que el dispositivo pueda ser operacional en condiciones ambientales (las cuales incluyen variaciones de temperatura de entre  $-20^\circ\text{C}$  y  $+90^\circ\text{C}$ , variaciones de presión de entre 2-200 kPa, y variaciones de humedad de entre 0-90 %), siendo dicha capa de pasivación sustancialmente impenetrable, como, por ejemplo, impenetrable a efectos prácticos, como, por ejemplo, impenetrable al agua, siendo dicha capa de pasivación sustancialmente impenetrable, como, por ejemplo, impenetrable a efectos prácticos, como, por ejemplo, impenetrable al agua y al hidrógeno.

Puede entenderse que la capa de pasivación facilita, posibilita y/o permite que el elemento del dispositivo óptico transparente pueda:

- Pasar (como para funcionar normalmente después) 1.000 horas a  $85^\circ\text{C}$  y con un 85 % de humedad relativa bajo sesgo funcional, como, por ejemplo, sin una degradación del rendimiento del actuador piezoeléctrico, manteniendo el rendimiento nominal de uno o más - por ejemplo, todos - de los siguientes atributos (donde “desviación” debe entenderse como “desviación del valor original”):

a. Atributos ópticos, como:

- i. transmitancia, como una desviación  $< 2 \%$ ,
- ii. error en el frente de onda, como una desviación  $< 10 \%$  del valor inicial
- iii. rango óptico, como una desviación  $< 5 \%$  del rango inicial, y/o
- iv. radio de curvatura de la membrana a 0 V (compensación), como una desviación  $< 10 \%$  de la compensación inicial,

b. Atributos mecánicos, como:

- i. fuerza de la membrana, como pasar la prueba de caída, y/o
- ii. integridad del dispositivo, como mantener la funcionalidad total,

c. Atributos eléctricos, como:

- i. capacitancia, como una desviación  $< 10 \%$  de la capacitancia inicial,
- ii. corriente residual, como una desviación  $< 10 \%$  del aumento de la corriente residual inicial, y/o
- iii. Contacto y funcionamiento eléctrico normales.

La transmitancia puede medirse en un elemento del dispositivo óptico transparente totalmente montado empleando un espectrómetro UV-Vis. El rango óptico y el error en el frente de onda pueden medirse mediante un sensor de frente de onda Shack-Hartmann. La curvatura de la membrana puede medirse mediante un interferómetro de luz blanca. Las mediciones eléctricas pueden realizarse empleando equipo para pruebas eléctricas estándar.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde dicha capa de pasivación, como, por ejemplo, dicha capa barrera, permite formar una barrera antihumedad donde:

- el coeficiente de transmisión del vapor de agua (WVTR) sea inferior a  $10^{-1} \text{ g/m}^2/\text{día}$ , como, por ejemplo, inferior a,  $10^{-3} \text{ g/m}^2/\text{día}$ , como, por ejemplo, inferior a  $10^{-4} \text{ g/m}^2/\text{día}$ , como, por ejemplo, inferior a  $10^{-5} \text{ g/m}^2/\text{día}$ ,

y/o donde

- el coeficiente de transmisión de oxígeno (OTR) sea inferior a  $10^{-1}$  scc/m<sup>2</sup>/día, como, por ejemplo, inferior a  $10^{-3}$  scc/m<sup>2</sup>/día, como, por ejemplo, inferior a  $10^{-6}$  scc/m<sup>2</sup>/día,

cuando el elemento del dispositivo se coloca en condiciones atmosféricas estándar, como, por ejemplo, en aire atmosférico y a una temperatura ambiente estándar (20 grados Celsius) y a una presión estándar (100 kPa) y a un 50 % de humedad relativa (HR). Se entiende en general al hablar de WVTR u otros valores OTR, que la medición de los mismos está sujeta a dichas condiciones, y que además se mantienen la barrera y ambos lados a la misma temperatura y que un lado se mantiene a un 50 % de HR mientras que el otro se mantiene a casi un cero HR, como, por ejemplo, a menos de un 1 % de HR, p. ej., mediante un flujo de nitrógeno seco ("gas de barrido").

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde un grosor total en el eje óptico en una dirección a lo largo del eje óptico de:

- a. al menos el cuerpo de lente deformable (640),
- b. el miembro de la cubierta transparente plegable (104),
- c. la capa de pasivación (312, 314, 742, 628),

sean de 1 mm o menos, como, por ejemplo, de 0,75 mm o menos, como, por ejemplo, de 0,5 mm o menos, como, por ejemplo, de 0,400 mm o menos (como de [100; 400] micrómetros), como, por ejemplo, de 0,25 mm o menos, como, por ejemplo, de 0,2 mm o menos. Una posible ventaja de tener un pequeño grosor es que ello activa un elemento del dispositivo óptico transparente con una muy pequeña huella vertical, lo cual, a su vez, permite cámaras más finas con una huella vertical más pequeña que pueden integrarse en dispositivos más finos que los disponibles en la actualidad.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde un diámetro de la abertura óptica es de 10 mm o menor, como, por ejemplo, de 7,5 mm o menor, como, por ejemplo, de 5 mm o menor (como, por ejemplo, de [0,5; 4,0] mm), como, por ejemplo, 2,5 mm o menor (como, por ejemplo, de [0,5-2,4], como, por ejemplo, de [2,0-2,4] mm), como, por ejemplo de 1,55 mm o menor, como, por ejemplo, de 1 mm o menor. Una posible ventaja de tener un pequeño diámetro es que activa un elemento del dispositivo óptico transparente, que puede utilizar una zona muy pequeña en un dispositivo de aplicación final (como una cámara) y puede instalarse en múltiples posiciones para una funcionalidad adicional (p. ej., creación de imágenes 3D).

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde el miembro de la cubierta transparente plegable se extiende más allá de los bordes interiores de la pared lateral. La pared lateral rodea el cuerpo de lente deformable, y debe entenderse que los bordes interiores de la pared lateral corresponden a la superficie de la pared lateral que orientada al cuerpo de lente deformable. En otras palabras, el miembro de la cubierta transparente plegable se extiende más allá del eje óptico que la superficie de la pared lateral orientada al cuerpo de lente deformable. Una posible ventaja de esto es que permite que uno o más actuadores piezoeléctricos se dispongan para poder emplear el principio del voladizo y amplificar el radio máximo de curvatura, incluso en la abertura óptica, donde no hay actuadores.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde uno o más actuadores piezoeléctricos están colocados sobre el miembro de la cubierta transparente plegable y la pared lateral. Una ventaja de esto puede ser que permite que uno o más actuadores piezoeléctricos se dispongan para poder emplear el principio del voladizo y amplificar el radio máximo de curvatura, incluso en la abertura óptica, donde no hay actuadores. En una realización específica, los actuadores piezoeléctricos pueden estar dispuestos para que una línea recta virtual trazada en paralelo al eje óptico a través del eje interior de la pared lateral corte el actuador o los actuadores piezoeléctricos o se encuentre a una distancia de los actuadores piezoeléctricos que sea comparable a su tamaño (donde los actuadores piezoeléctricos pueden encontrarse más cerca del eje óptico que el borde interior de la pared lateral).

En una realización hay un elemento del dispositivo óptico transparente, donde el miembro de la cubierta transparente plegable comprende y está formado por un material con módulos de Young de al menos 20 GPa, como, por ejemplo, de entre 20-60 GPa. Una ventaja de esto (como miembro de la cubierta relativamente rígido) puede ser que permita o facilite que los actuadores piezoeléctricos definan la abertura, siendo al tiempo posible dar forma al miembro de la cubierta en la abertura (aunque no haya actuadores piezoeléctricos ahí) con los actuadores piezoeléctricos. El miembro de la cubierta transparente plegable puede además

- tener una transmitancia del 98 % o más para la luz, y/o
- una presión menor o igual a 20 MPa
- una resiliencia a la humedad, sin absorber H<sub>2</sub>O durante 1.000 horas a 85 °C y a un 85 % de HR (esto es, sin cambios significativos de presión o masa).

Esto puede realizarse, por ejemplo, si el miembro de la cubierta transparente plegable está hecho de cristal.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde el actuador o los actuadores piezoeléctricos comprende un material con

- un coeficiente piezotransversal ( $|d_{31}|$ ) numéricamente igual o mayor que 50 pC/N, como, por ejemplo, preferentemente numéricamente igual o mayor que 100 pC/N, como, por ejemplo, preferentemente numéricamente igual o mayor que 200 pC/N, y/o
- un coeficiente piezolongitudinal ( $|d_{33}|$ ) numéricamente igual o mayor que 50 pC/N, como, por ejemplo, numéricamente igual o mayor que 100 pC/N, como, por ejemplo, numéricamente igual o mayor que preferentemente  $<-200$  pC/N.

Por "numéricamente" se entiende el valor absoluto, por ejemplo, -250 es numéricamente mayor que cualquier número dentro del rango  $]-250; +250[$ . En una realización, el material elegido es un material ferroeléctrico, como el circonato-titanato de plomo (PZT). Una ventaja de esto puede ser el gran efecto de actuación piezoeléctrica de este material.

En una realización se proporciona un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la magnificación es ajustable mediante el accionamiento de uno o más actuadores piezoeléctricos a través de un rango de más de 5 dioptrías, como, por ejemplo, de 6 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 7,5 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 10 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 12,5 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 14 dioptrías o más. Puede entenderse en general que el rango puede incluir una magnificación de 0 dioptrías, como, por ejemplo, un rango de 0-5 dioptrías, como, por ejemplo, de 0-6 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 0-7,5 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 0-10 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 0-12,5 dioptrías o más, como, por ejemplo, de 0-14 dioptrías, como, por ejemplo, de 0-16 dioptrías, como, por ejemplo, de 0-20 dioptrías. El rango puede incluir una magnificación de 0 dioptrías y un rango a ambos lados de cero, como, por ejemplo, un rango de/a  $\pm 2,5$  dioptrías (esto es, de -2,5 dioptrías a 2,5 dioptrías), como, por ejemplo, de  $\pm 6$  dioptrías o más, como, por ejemplo, de  $\pm 7,5$  dioptrías o más, como, por ejemplo, de  $\pm 10$  dioptrías o más, como, por ejemplo, de  $\pm 12,5$  dioptrías o más, como, por ejemplo, de  $\pm 14$  dioptrías, como, por ejemplo, de  $\pm 16$  dioptrías, como, por ejemplo, de  $\pm 20$  dioptrías.

Según un cuarto aspecto, se proporciona una cámara, un escáner o un atenuador o adaptador óptico variable que comprende

- a. el elemento del dispositivo óptico transparente según el primer aspecto, o
- b. el elemento del dispositivo óptico transparente fabricado según cualquiera de las reivindicaciones del primer aspecto.

En una reivindicación más general, se proporciona un dispositivo óptico que comprende

- a. el elemento del dispositivo óptico transparente según el primer aspecto, o
- b. el elemento del dispositivo óptico transparente fabricado según cualquiera de las reivindicaciones del primer aspecto.

donde el dispositivo óptico puede ser cualquiera de los dispositivos ópticos elegidos del grupo que comprende y está formado por: un escáner, una cámara, un atenuador o adaptador óptico variable, un iris, una unidad de estabilización de imagen óptica (OIS), una lente de zoom, una lente gran angular.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente según la reivindicación 13.

Puede entenderse que el método puede considerarse como formado por una secuencia de pasos que no tienen por qué llevarse a cabo necesariamente en el orden donde se presentan. Sin embargo, en ciertas realizaciones, la secuencia de pasos se lleva a cabo en el orden donde se presenta.

La capa barrera puede estar directamente colocada, o depositada, sobre los actuadores piezoeléctricos y/o el miembro de la cubierta.

En una realización se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente, donde tras colocar la capa barrera sobre

- 1. al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, porción la cual es cortada por el eje óptico, y
- 2. dichos actuadores piezoeléctricos,

el método incluye, además:

- colocar una capa conductora de electricidad sobre dichos actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, una capa de metal, como, por ejemplo Au o AlCu, como, por ejemplo, una capa que comprenda Au/TiN, Au/TaN o AlCu/TiN y

- conectar eléctricamente la capa conductora de electricidad al actuador o a los actuadores piezoeléctricos,

para formar un contacto eléctrico con el actuador o los actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, en un electrodo superior de dichos actuadores.

Una ventaja de esta realización puede ser que facilita que el procesado relativo al contacto eléctrico no dañe los actuadores ni el miembro de la cubierta, como, por ejemplo, la porción de la abertura del miembro de la cubierta, puesto que dicho procesado se lleva a cabo, al menos parcialmente, tras la formación de la capa barrera.

En una realización se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente, donde tras colocar la capa barrera sobre

1. al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, porción la cual es cortada por el eje óptico, y

2. dichos actuadores piezoeléctricos,

el método incluye, además:

- colocar una capa conductora de electricidad sobre dichos actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, una capa de metal, como, por ejemplo Au o AlCu, como, por ejemplo, una capa que comprenda Au/TiN, Au/TaN o AlCu/TiN y

- conectar eléctricamente la capa conductora de electricidad al actuador o a los actuadores piezoeléctricos,

para formar un contacto eléctrico con el actuador o los actuadores piezoeléctricos, y donde

- la colocación de la capa o capas adicionales ubicadas sobre dicha capa barrera tenga lugar tras

- colocar la capa conductora de electricidad, y

- conectar eléctricamente la capa conductora de electricidad al actuador o a los actuadores piezoeléctricos.

Una ventaja de esta realización puede ser que la capa o las capas adicionales (como, por ejemplo, las capas restantes del ARC), no se coloquen ahí hasta que haya tenido lugar el contacto eléctrico, lo cual puede garantizar que la capa o las capas adicionales no sufran por los pasos de procesado relativos al contacto eléctrico.

En una realización alternativa se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente, donde tras colocar la capa barrera sobre 1.

al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, porción la cual es cortada por el eje óptico, y

2. dichos actuadores piezoeléctricos,

el método incluye, además:

- colocar una capa conductora de electricidad sobre dichos actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, una capa de metal, como, por ejemplo Au o AlCu, como, por ejemplo, una capa que comprenda Au/TiN, Au/TaN o AlCu/TiN y

- conectar eléctricamente la capa conductora de electricidad al actuador o a los actuadores piezoeléctricos,

para formar un contacto eléctrico con el actuador o los actuadores piezoeléctricos, y donde

- la colocación de la capa o las capas adicionales situadas sobre dicha capa barrera tenga lugar antes de

- colocar la capa conductora de electricidad, y

- conectar eléctricamente la capa conductora de electricidad al actuador o a los actuadores piezoeléctricos.

En una realización se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente, donde tras

colocar la capa barrera sobre

1. dicho miembro de la cubierta, y

5 2. dichos actuadores piezoeléctricos,

el método incluye, además

10 - añadir una capa de compensación de la presión, como, por ejemplo, una capa de nitrato de silicio, cubriendo al menos parcialmente el actuador o los actuadores piezoeléctricos.

La capa de compensación de la presión es una capa que permite adaptar (incrementando) la fuerza del miembro de la cubierta y/o adaptando el radio de curvatura del dispositivo final, como, por ejemplo, el miembro de la cubierta. La capa de compensación de la presión puede ser de un material relativamente dura, con una presión predecible (permitiendo que sea depositado de forma predecible y reiterable en ciertos rangos de presión relevantes a efectos prácticos) e/o inerte (significando inerte no reactivo a elementos atmosféricos típicos como H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc., y a los productos químicos típicos empleados en el procesado, p. ej., ácidos débiles, bases, disolventes, etc.). La capa de compensación de presión puede ser beneficiosa para controlar la presión en el miembro de la cubierta, reforzando la fuerza mecánica del miembro de la cubierta y/o mejorando las propiedades de pasivación de la capa de pasivación, por ejemplo aumentando la pasivación de la humedad.

En una realización se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente, donde la capa barrera está situada sobre la lente óptica, como, por ejemplo, sobre el miembro de la cubierta y los actuadores piezoeléctricos, en un entorno oxidativo, como, por ejemplo, depositado mediante un método que no contenga hidrógeno residual o un entorno reductor. Una ventaja de emplear un entorno oxidativo puede ser que facilita el empleo de materiales que no pueden soportar un entorno reductor. En una realización, la capa barrera se deposita sobre la lente óptica mediante ALD empleando ozono como precursor catalítico. Una ventaja de esto puede ser que permite la formación de una capa densa y conformal.

30 En una realización se proporciona un método para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente, donde colocar

35 - la capa barrera comprende depositar la capa barrera mediante un método de deposición de película fina, como, por ejemplo, deposición mediante un método de deposición de película fina elegido de entre el grupo que comprende:

- deposición física de vapor (PVD), como, por ejemplo, cualquiera de los siguientes: pulverización catódica, evaporación, IAD,
- 40 ○ Deposición física de vapor (CVD), como, por ejemplo, mediante cualquiera de los siguientes elementos: PECVD, SACVD, LPCVD, APCVD, y
- deposición de capa atómica (ALD),

45 y/o donde colocar

50 - la capa o las capas adicionales comprende depositar una capa de nitrato de metal (como, por ejemplo, cualquiera de los siguientes elementos: TiN, TaN, TiAlN, TaAlN) mediante un método de deposición de película fina, como, por ejemplo, deposición mediante un método de deposición de película fina elegido de entre el grupo que comprende:

- deposición física de vapor (PVD), como, por ejemplo, cualquiera de los siguientes: pulverización catódica, evaporación, IAD,
- 55 ○ Deposición física de vapor (CVD), como, por ejemplo, mediante cualquiera de los siguientes elementos: PECVD, SACVD, LPCVD, APCVD, y
- deposición de capa atómica (ALD),

60 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona el uso de

- a. el elemento del dispositivo óptico transparente según cualquiera de las reivindicaciones del primer aspecto, o
- 65 b. un elemento del dispositivo óptico transparente fabricado según cualquiera de las reivindicaciones del segundo aspecto,

como, por ejemplo, un uso para obtener una o más imágenes.

En realizaciones alternativas, el elemento del dispositivo óptico transparente mencionado puede utilizarse para escanear marcas identificativas, como códigos de barras y/o retinas, o atenuar la luz o longitudes de onda específicas

El primer, el segundo y el tercer aspecto de la presente invención pueden combinarse con cualquiera de los demás aspectos. Estos y otros aspectos de la invención se harán aparentes a partir de y serán elucidados con referencia a las realizaciones aquí descritas.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

El elemento del dispositivo óptico transparente según la invención se describirá a continuación en más detalle con respecto a las figuras adjuntas. Las figuras muestran una forma de implementar la presente invención y no deben interpretarse como limitativas de cualquier otra posible realización que entre dentro del ámbito del conjunto de reivindicaciones adjunto.

Las figuras 1-6 ilustran los pasos de un método de fabricación,

Las figuras 7-8 ilustran un elemento del dispositivo óptico transparente,

Las figuras 9-16 ilustran ejemplos de composiciones de capa de pasivación

La figura 17 muestra un diagrama de flujo que ilustra un método de fabricación.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE UNA REALIZACIÓN

El tipo, la secuencia y el flujo de los pasos de fabricación para la producción de una microlente piezoeléctrica son relevantes para determinar su rendimiento final y su fiabilidad. Los requisitos clave para un dispositivo con buen rendimiento y buena fiabilidad pueden comprender características como presión baja en la membrana de cristal (como, por ejemplo, < 30 MPa), un piezoeléctrico con buenas características eléctricas en términos de baja corriente residual (< 30 nA/mm<sup>2</sup>), tensión de corte excesiva de 40 V y un coeficiente piezoeléctrico transversal ( $e_{31,f}$ ) excesivo de -12 C/m<sup>2</sup> y un actuador de pila piezoeléctrica resistente a las altas temperaturas y a la humedad elevada (p. ej., 85 °C y 85 % HR) bajo sesgo funcional. Además de tener baja presión, la membrana de cristal debería preferentemente ser también resistente a las altas temperaturas y a la humedad elevada y debe tener suficiente calidad óptica (transmitancia superior al 95 % y reflectividad < 2 %) para su uso como componente de lente en una cámara.

La FIG. 1 ilustra una estructura en capas 100 que comprende (comenzando desde abajo) un sustrato de silicio 102 y una capa de cristal que forma el miembro de la cobertura 104.

En general, el procedimiento de fabricación de la microlente (llamada TLens®) puede comenzar con un cristal ligado a o depositado sobre una oblea sustrato (típicamente silicio) cuyo cristal debe estar en un estado de baja presión y buena homogeneidad. El cristal también puede contener, ventajosamente, un bajo defecto de calidad para alcanzar un buen rendimiento óptico. El cristal sobre la oblea de silicio puede prepararse mediante la unión de la oblea de silicio y el cristal, por ejemplo, mediante unión anódica o por fusión; o mediante deposición química de vapor (CVD), como, por ejemplo, deposición química de vapor a baja presión (LPCVD), deposición química de vapor asistida por plasma (PECVD), deposición química de vapor a presión subatmosférica (SACVD) y deposición química de vapor a presión atmosférica (APCVD); o mediante deposición física de vapor (PVD) mediante pulverización catódica, evaporación o deposición por láser pulsado; o mediante deposición por fase líquida, como, por ejemplo, la deposición sol-gel, la hidrólisis y la pirólisis de pulverización.

La estructura por capas 100 comprende además una capa conductora inferior que comprende platino 106, una capa piezoeléctrica 108 que comprende, por ejemplo, titanato circonio de plomo (PZT), PNZT, PLZT, BNT, KNN o BST, una capa conductora superior que comprende platino 110, donde la estructura en capas 100 forma un punto de inicio para un método para fabricar un ejemplo de elemento del dispositivo óptico transparente.

De forma más general, tras la deposición del cristal, el siguiente paso puede ser depositar la pila piezoeléctrica que comprende un electrodo inferior 106, una capa piezoeléctrica 108 (p. ej., PZT, PNZT, PLZT, KNN, BNT, BST etc.) y un electrodo superior. Los ejemplos de electrodo inferior y superior que pueden emplearse incluyen TiN, TiAlN, TiW, TiAlON, Pt, Pd, PdOx, aleaciones de IrPt, Au, Ag, Ru, RuOx, (Ba, Sr, Pb)RuO<sub>3</sub>, (Ba,Sr)RuO<sub>3</sub>, o LaNiO<sub>3</sub> y/o cualquiera de sus aleaciones/compuestos. La temperatura, condiciones del plasma (de haberlo), condiciones de recocido y atmósfera antes y después de la deposición son relevantes para controlar las propiedades necesarias y deben coincidir con las propiedades únicas de la oblea de cristal sobre silicio (GOS). Las capas del electrodo y el piezoeléctrico pueden ser depositadas mediante cualquier método PVD (p. ej., pulverización catódica, evaporación, deposición por láser pulsado) o método CVD (p. ej., MOCVD) y/o mediante deposición de soluciones químicas (esto es, el método sol-gel). Las capas pueden no ser depositadas o recocidas a una cierta temperatura puesto que ello podría destruir o dañar significativamente las propiedades de la oblea GOS y específicamente las propiedades de la oblea de cristal sobre



silicio. La deposición y el postratamiento de las capas piezoeléctricas puede, ventajosamente, no realizarse de forma que se genere excesiva presión en la oblea y que se mantenga lo más baja posible.

La FIG. 2 muestra la estructura en capas 102 tras imprimir la pila piezoeléctrica, esto es, dónde se han formado los actuadores piezoeléctricos, como, por ejemplo, uno o más actuadores piezoeléctricos que comprenden un electrodo inferior 206, una capa de material piezoeléctrico 208 y un electrodo superior 210.

De forma más general, tras la deposición de la pila piezoeléctrica, esta última puede imprimirse para formar los actuadores piezoeléctricos. La primera capa que precisa impresión es el electrodo superior, y esto puede hacerse empleando un enfoque de impresión húmedo o seco, según sea la naturaleza exacta de los materiales empleados para el electrodo inferior y el superior. A partir de ahí, puede imprimirse la capa piezoeléctrica seguida, a continuación, del electrodo inferior. Un aspecto relevante de estos procedimientos de impresión son la deposición de la máscara y la preparación para la impresión, el control de la impresión, el impacto/la retirada de residuos de impresión y el impacto del entorno de impresión en las propiedades de la capa piezoeléctrica funcional crítica. Por ejemplo, si se emplea la impresión en seco para imprimir el electrodo superior, el ángulo de conicidad de la máscara de polímero tendría que ser de un ángulo lo suficientemente bajo como para evitar la formación de residuos de impresión que contengan polímero (conocidos en inglés como "fences" -mallas-) sobre el borde de una capa no impresa. Cualquier residuo puede, en principio, tener un impacto significativo sobre la fiabilidad del dispositivo acabado.

Además, en algunos ejemplos de realizaciones donde se imprime una capa piezoeléctrica, es posible utilizar impresión húmeda o en seco, considerándose la impresión húmeda la alternativa más barata. Durante el procedimiento de impresión húmeda, es posible alcanzar un control de la impresión razonablemente bueno empleando una combinación de soluciones ácidas. A nivel del dispositivo final, esto puede en principio ocasionar problemas debido al método de impresión utilizado, que deja una pared lateral con bordes pronunciados, lo cual podría resultar un desafío para la aplicación de un subsiguiente recubrimiento con otra película para preservar la integridad y el rendimiento del piezoeléctrico en un entorno agresivo durante las pruebas de fiabilidad. Este fenómeno puede cambiar aún más los requisitos del recubrimiento de pasivación para cubrir y proteger adecuadamente las zonas aisladas o cóncavas de la capa piezoeléctrica.

La FIG. 3 muestra el resultado de un paso de procesado subsiguiente, donde se ha aplicado una capa barrera 312 y donde se ha aplicado una subcapa primaria 314. Dicha barrera que comprende una capa densa y conformal de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , lo cual garantiza que recubra adecuadamente y proteja contra la humedad todas las zonas abiertas del actuador piezoeléctrico.

En una realización alternativa,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  puede "taparse" con otra capa que actúa de barrera ante  $\text{H}_2\text{O}$  líquido, dado que algunas formas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pueden ser inestables en presencia de  $\text{H}_2\text{O}$  líquido, por ejemplo, algunas formas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  depositadas por ALD u otro método. Dicha subcapa primaria 314 es relativamente más gruesa que las subcapas secundarias subsiguientemente colocadas (mostradas en la FIG. 6), y la subcapa primaria en la presente realización es una capa de óxido, como, por ejemplo,  $\text{SiO}_2$ .

De forma más general, tras imprimir la pila piezoeléctrica de la abertura óptica es necesario proteger dicha pila piezoeléctrica y la membrana de cristal de la humedad mecánicamente, y evitar los cortes eléctricos recubriendo la pila piezoeléctrica con una capa de pasivación.

La FIG. 4 muestra el resultado de un paso subsiguiente de procesado, donde se han formado las aberturas en la capa barrera 312 y en la subcapa primaria 314, permitiendo acceder eléctricamente al electrodo inferior a través de la abertura 416 y al electrodo superior a través de la abertura 418. Las aberturas pueden formarse mediante impresión selectiva.

La FIG. 5 muestra el resultado de un paso de procesado subsiguiente, donde una o más zonas sobre los actuadores piezoeléctricos comprenden una capa conductora de electricidad, como, por ejemplo, una capa conductora de electricidad que comprende una capa TiN 520 y una capa AlCu 522 conectadas eléctricamente al electrodo inferior, o a una capa conductora de la electricidad que comprende una capa TiN 524 y una capa AlCu 526 conectadas eléctricamente al electrodo superior.

La FIG. 6 muestra el resultado de un paso de procesado subsiguiente, donde una o más capas adicionales 628 se colocan sobre la capa barrera, y donde se proporcionan aberturas en la capa o las capas adicionales, permitiendo acceder eléctricamente al electrodo inferior a través de la abertura 636 y al electrodo superior a través de la abertura 638. Las aberturas pueden formarse mediante impresión selectiva. La figura muestra además una zona de abertura entre los actuadores piezoeléctricos, según indican las líneas punteadas 632. La figura muestra además una zona de abertura entre los actuadores piezoeléctricos, según indican las líneas punteadas 632. La figura muestra además un eje óptico entre los actuadores piezoeléctricos, según indica la línea punteada 634. La figura muestra además un orificio perforado 630 en el sustrato de silicio, que permite que el elemento del dispositivo óptico sea transparente. El orificio perforado comprende un cuerpo de lente deformable 640, donde las porciones restantes que rodean el sustrato de silicio actúan como soporte circundante 602, y estas pueden ser también denominadas pared lateral o estructura de soporte. El borde interior 603 aparece en el lado izquierdo (donde se indica que las aberturas del soporte 602 y

también de los actuadores piezoeléctricos que definen la abertura 632 son generalmente circulares). En el correspondiente lado derecho, una línea virtual 605 paralela al eje óptico 634 y que atraviesa el borde interior 603 de la pared lateral 602 corta el actuador piezoeléctrico.

Además, los recubrimientos pueden depositarse ventajosamente sobre la pila piezoeléctrica para que no tengan lugar la deslaminación ni la degradación de la pila piezoeléctrica. Esto significa que el entorno de deposición puede ventajosamente no ser agresivo para la pila piezoeléctrica y para los procedimientos específicos seleccionados que no serán degradativos o que cualquier elemento susceptible o reactivo de la pila piezoeléctrica se ha mejorado. Por ejemplo, la deposición de revestimientos ópticos mediante PECVD suele contener un entorno reductor rico en hidrógeno y si la pila piezoeléctrica contiene elementos que son reactivos al hidrógeno, como, por ejemplo, el platino u otros catalizadores, es posible que tenga lugar la degradación de la pila piezoeléctrica como deslaminado, según los electrodos utilizados. Una solución a este problema es asegurarse de que la primera capa depositada sobre la pila piezoeléctrica impresa se deposita usando un procedimiento de deposición en un entorno oxidativo o asegurarse de que se emplean electrodos no reactivos.

Además, las propiedades de la capa depositada deben ser también lo suficientemente adecuadas como para que las propiedades de la capa de pasivación, en términos de barrera antihumedad adecuada, ópticamente buena (esto es, características de baja absorbancia) y características de presión predecibles bien definidas. Dicha capa puede depositarse mediante un procedimiento CVD o PVD en un entorno oxidativo. Las técnicas PVD como la pulverización catódica o la evaporación pueden llevarse a cabo en un entorno rico en oxígeno y pueden ser útiles a estos efectos. Los métodos CVD no se suelen emplear tan comúnmente en un entorno oxidativo, pero un método de deposición CVD particularmente útil con buena cobertura de pasos utilizando un entorno oxidativo es la deposición de capa atómica (ALD). En un entorno rico en ozono (oxígeno) es posible depositar la primera barrera crítica o la barrera óptica sobre el paso piezoeléctrico, puesto que  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{HfO}$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiON}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{ThF}_4$ ,  $\text{CeF}_3$ ,  $\text{PbF}_2$ , etc. Pueden depositarse con buenas propiedades ópticas. La capa barrera según el presente ejemplo proporciona un valor para el coeficiente de transmisión de vapor de agua (WVTR) de entre  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

Además, las capas como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  también son barreras de hidrógeno muy útiles, lo cual significa que si fuera deseable un procesado ulterior en un entorno reductor disponible empleando un método más barato como el PECVD, esto evitaría que tuviera lugar una reacción negativa asociada al hidrógeno. Además, una vez la capa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es lo suficientemente gruesa y está recubierta con una capa de cubierta, también puede funcionar como barrera antihumedad muy resiliente y/o robusta, asumiendo que su grosor y el grosor de las otras capas hayan sido ópticamente optimizados para una alta transmitancia y una baja reflectividad.

Un rasgo adicional del dispositivo que se mencionó brevemente más arriba pero que ahora se verá con algo más de detalle, es la capa barrera antihumedad conductora. Esta capa puede ser ventajosa para garantizar que el dispositivo sea capaz de sobrevivir a los requisitos de funcionamiento en condiciones básicas de humedad y temperatura y puede ser ventajosa para proporcionar un sello sobre el dispositivo que haya sido expuesto tras la apertura de la pasivación para el contacto eléctrico. La capa conductora debe ser una buena barrera de hidrógeno además de una buena barrera antihumedad y debe ser depositada en un entorno que no sea rico en hidrógeno, preferentemente. Esto significa que se prefieren bien un procedimiento PVD, bien un procedimiento CVD en un entorno inerte o ligeramente oxidativo. Por ejemplo, la capa barrera de hidrógeno conductora puede contener TiN, TiAlN, o TiAlON. Alternativamente, la susceptibilidad de los electrodos ante el hidrógeno puede mejorarse eliminando los materiales catalizadores de hidrógeno y sustituyéndolos por un material conductor que sea menos catalizador del hidrógeno. Por ejemplo, Pt, Pd, PdOx pueden ser reemplazados por aleaciones de IrPt, Ag, Au, Ru, RuOx, (Ba, Sr, Pb)RuO3, TiW, (Ba,Sr)RuO3, o LaNiO3.

La FIG. 7 muestra una realización más detallada correspondiente a la realización de la FIG. 6, a excepción de la realización de la FIG. 7 además muestra una capa de nitrato de silicio ( $\text{SiN}$ ) 742. Más específicamente, la FIG 7 muestra un elemento del dispositivo óptico transparente 700 que comprende:

a. Una lente óptica 744, que comprende

i. al menos un cuerpo de lente deformable 640 rodeado por una pared lateral 602,

ii. Un miembro del a cubierta transparente plegable 104 unido a una superficie de al menos dicho cuerpo de lente,

iii. uno o más actuadores piezoeléctricos 206, 208, 210 dispuestos para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada,

donde dicha lente óptica 744 comprende una abertura óptica 632 con un eje óptico 634, donde dicho eje óptico corta el cuerpo de lente y el miembro de la cubierta,

b. una capa de pasivación 312, 314, 742, 628 colocada en dicha lente óptica, comprendiendo dicha capa de pasivación múltiples subcapas, incluyendo:

i. una capa barrera 312, la cual forma una barrera antihumedad y está situada en:

1. al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, donde el eje óptico corta dicha porción de dicho miembro de la cubierta, y

2. dichos actuadores piezoeléctricos,

ii. una o más capas adicionales 628 ubicadas sobre al menos dicha porción de dicho miembro de la cubierta cortado por el eje óptico,

donde dicha capa de pasivación forma un revestimiento antirreflectante para dicha lente óptica 744 al menos a lo largo del eje óptico 634.

La FIG. 8 muestra una vista superior de la realización mostrada en la FIG. 7 (donde las figuras 1-7 representan vistas laterales), con la abertura óptica 832 en el medio. La abertura óptica es el anillo circular interior (el anillo circular interior es el borde del actuador piezoeléctrico en la parte exterior de la abertura), que en la presente realización es de 1,55 micrómetros. El anillo circular ligeramente mayor muestra el borde interior de la pared lateral (también denominado estructura de soporte).

La FIG. 17 ilustra un método S1250 para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente 700; dicho método comprende:

c. Proporcionar S1252 una lente óptica 744 que comprende

i. al menos un cuerpo de lente deformable rodeado por una pared lateral,

ii. un miembro de la cubierta transparente plegable unido a una superficie de al menos dicho cuerpo de lente deformable,

iii. uno o más actuadores piezoeléctricos dispuestos para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada,

donde dicha lente óptica comprende una abertura óptica con un eje óptico, donde el eje óptico cruza el cuerpo de la lente y el miembro de la cubierta,

d. colocando S1254 una capa de pasivación sobre dicha lente óptica, donde dicha capa de pasivación comprende múltiples subcapas, donde la colocación de dicha capa de pasivación incluye:

i. la colocación S1256 de una capa barrera, formando esta una barrera de humedad, sobre:

1. al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, donde el eje óptico corta dicha porción de dicho miembro de la cubierta, y

2. dichos actuadores piezoeléctricos,

ii. colocando S1258 una o varias capas adicionales al menos en dicha porción de dicho miembro de la cubierta cruzado por el eje óptico,

de forma que dicha capa de pasivación comprende:

- la capa barrera y

- la capa o capas adicionales,

y de forma que la capa de pasivación permita que uno o varios actuadores piezoeléctricos estén dispuestos para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada,

y de forma que la capa de pasivación forme un recubrimiento antirreflectante para dicha lente óptica al menos a lo largo del eje óptico.

En los siguientes ejemplos se describen realizaciones de ejemplo. En todas las figuras 9-16, la parte izquierda y derecha respectivamente, hacen referencia al "contacto del electrodo superior sobre PZT" y a la "cubierta del cristal", donde el primero se entiende que ilustra una composición de la capa de pasivación (también indicando un actuador piezoeléctrico, cf., Pt-PZT-Pt) a lo largo de una línea paralela al eje óptico y atraviesa un actuador piezoeléctrico, al menos parcialmente en una posición donde se realiza el contacto eléctrico, y el segundo ilustra una composición de

la capa de pasivación (indicando también el miembro de la cubierta, cf., "cristal") a lo largo del eje óptico en la abertura. Cuando se habla de "pasos" (por ejemplo "paso 1", "paso 2", "paso 1+2", etc.), se entiende que indican una secuencia de deposición de las capas respectivas, por ejemplo, las capas correspondientes al "paso 1" se depositan antes de las capas correspondientes al "paso 2". Estos ejemplos describen realizaciones específicas de ejemplo y la presente invención considera y abarca que las características de un ejemplo pueden estar integradas en otro ejemplo.

### Ejemplo 1.

Este ejemplo comienza con una capa de ALD  $\text{Al}_2\text{O}_3$  depositada directamente sobre cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La siguiente capa es una capa gruesa de dióxido de silicio (subcapa primaria) que tiene una gran tolerancia al grosor para un buen rendimiento óptico. A continuación se coloca el metal superior ("capa conductora de la electricidad" que es simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora), para terminar con las 4 capas restantes (la capa o las capas adicionales) que comprenden la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 1 es del 96 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 9 ilustra las capas según el ejemplo 1. Los grosores exactos de las capas (es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son los siguientes:

Capa	Grosor (Å)
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (Parte inferior)	400
$\text{SiO}_2$	6000
$\text{SiON}$	1440
$\text{SiO}_2$	1670
$\text{SiON}$	710
$\text{SiO}_2$ (Parte superior)	830

### Ejemplo 2.

Este ejemplo comienza con una capa de ALD  $\text{Al}_2\text{O}_3$  depositada directamente sobre cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La siguiente capa es una capa gruesa de dióxido de silicio (subcapa primaria) que tiene una gran tolerancia al grosor para un buen rendimiento óptico. A continuación se deposita una capa de  $\text{SiN}$  (formando una capa de compensación de la presión), para satisfacer los requisitos de humedad y presión extra, seguida del metal superior ("capa conductora de la electricidad" que forma simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora). Para terminar, sobre el metal superior, se depositan las 4 capas restantes (la capa o las capas adicionales) que comprenden la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 2 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 10 ilustra las capas según el ejemplo 2. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son iguales que en el ejemplo 1.

### Ejemplo 3.

Este ejemplo comienza con una capa de ALD  $\text{Al}_2\text{O}_3$  depositada directamente sobre cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La siguiente capa es una capa fina de dióxido de silicio seguida de una capa más gruesa (es decir, subcapa primaria) de  $\text{SiON}$  que tiene un buen rendimiento óptico y es una buena barrera de humedad. A continuación se coloca el metal superior ("capa conductora de la electricidad" que es simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora). Para terminar se deposita la capa final de las 4 capas (la capa o capas adicionales) que comprende la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 3 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 14 ilustra las capas según el ejemplo 3. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son los siguientes:

Capa	Grosor (Å)
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (Parte inferior)	400
$\text{SiO}_2$	200
$\text{SiON}$	9000

(continuación)

SiO <sub>2</sub>	800
------------------	-----

**Ejemplo 4.**

Este ejemplo comienza con una capa de ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> depositada directamente sobre cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La siguiente capa es una capa fina de dióxido de silicio seguida de una capa más gruesa (es decir, subcapa primaria) de SiON que tiene un buen rendimiento óptico y es una buena barrera de humedad, seguida de una capa relativamente fina de dióxido de silicio. A continuación se coloca el metal superior ("capa conductora de la electricidad" que es simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora). El metal superior puede estar impreso utilizando el método *lift off* para reducir los efectos de la impresión sobre el espesor de la capa superior del ARC y para mejorar el rendimiento del ARC. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 4 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de 10<sup>-4</sup> g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 15 ilustra las capas según el ejemplo 3. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son los siguientes:

Capa	Grosor (Å)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Parte inferior)	400
SiO <sub>2</sub>	200
SiON	9000
SiO <sub>2</sub>	800

**Ejemplo 5.**

Este ejemplo comienza con una capa de ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> depositada directamente sobre cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La siguiente capa es una capa gruesa de dióxido de silicio (subcapa primaria) que tiene una gran tolerancia al grosor para un buen rendimiento óptico. A continuación se coloca el metal superior ("capa conductora de la electricidad" que forma simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora) y, a continuación, se deposita una capa de SiN (formando una capa de compensación de la presión) para satisfacer los requisitos de humedad y presión extra. Para terminar, sobre el SiN, se depositan las 4 capas restantes (la capa o las capas adicionales) que comprenden la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 5 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de 10<sup>-4</sup> g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 11 ilustra las capas según el ejemplo 5. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son iguales que en el ejemplo 1.

**Ejemplo 6.**

Este ejemplo comienza con una capa de ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> depositada directamente sobre una capa barrera de cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La existencia previa de la barrera de cristal añade una capa adicional (tampón) para optimización de ARC y reduce los requisitos de pasivación del cristal en las capas posteriores. En particular, la barrera de cristal puede resultar útil para proteger el miembro de la cubierta (el "cristal" en la figura) durante el procesamiento de los actuadores piezoeléctricos. La siguiente capa es una capa gruesa de dióxido de silicio (subcapa primaria) que tiene una gran tolerancia al grosor para un buen rendimiento óptico. A continuación se deposita una capa de SiN (formando una capa de compensación de la presión), para satisfacer los requisitos de humedad y presión extra, seguida del metal superior ("capa conductora de la electricidad" que forma simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora). De forma alternativa la capa de SiN se puede colocar por debajo del metal superior igual que el ejemplo 2. Para terminar, sobre el metal superior, se depositan las 4 capas restantes (la capa o las capas adicionales) que comprenden la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 6 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de 10<sup>-4</sup> g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 12 ilustra las capas según el ejemplo 6. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son iguales que en el ejemplo 1.

**Ejemplo 7.**

Este ejemplo comienza con una capa de ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> depositada directamente sobre una capa barrera de cristal y PZT/electrodos de platino de la pila piezoeléctrica. La existencia previa de la barrera de cristal añade una capa adicional (tampón) para optimización de ARC y reduce los requisitos de pasivación del cristal en las capas posteriores. En particular, la barrera de cristal puede resultar útil para proteger el miembro de la cubierta (el "cristal" en la figura)

durante el procesamiento de los actuadores piezoeléctricos. La siguiente capa es una capa gruesa de dióxido de silicio (subcapa primaria) que tiene una gran tolerancia al grosor para un buen rendimiento óptico. Para terminar, sobre el metal superior ("capa conductora de la electricidad" que forma simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora), se depositan las 4 capas restantes (la capa o las capas adicionales) que comprenden la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 7 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 13 ilustra las capas según el ejemplo 7. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son iguales que en el ejemplo 1.

#### Ejemplo 8.

Este ejemplo comienza con una barrera óptica y un elemento piezoeléctrico situado sobre la parte inferior del cristal. Los requisitos ópticos para la barrera óptica en la parte inferior del cristal son menos restrictivos que (para la capa de pasivación) en la parte superior del cristal, sin embargo, debe tener igualmente los mismos requisitos de pasivación para el elemento piezoeléctrico. Los contactos eléctricos deben realizarse desde la parte superior (tal y como se describe en la figura 16) o desde la parte inferior y la capa de compensación de la presión también se puede depositar sobre la parte superior (o la parte inferior) aunque no se describa así en la figura. Si los contactos eléctricos y/o la capa de compensación de la presión se realizan desde la parte superior, resulta mejor utilizar el método de pasivación de ARC aquí descrito (véase ejemplo 1). Después de la colocación del cristal, ALD  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se coloca directamente sobre el cristal seguido de una capa gruesa de dióxido de silicio (subcapa primaria) que tiene una gran tolerancia de espesor para un mejor rendimiento óptico. A continuación se puede depositar o no una capa de SiN (formando una capa de compensación de la presión), para satisfacer los requisitos de humedad y presión extra, seguida del metal superior ("capa conductora de la electricidad" que forma simultáneamente una barrera antihumedad y una barrera de hidrógeno conductora). Para terminar, sobre el metal superior, se depositan las 4 capas restantes (la capa o las capas adicionales) que comprenden la pila óptica. La transmitancia del dispositivo óptico utilizando el ARC descrito en el ejemplo 8 es del 95 %. La capa de pasivación según el presente ejemplo tiene un valor del WVTR de  $10^{-4}$  g/m<sup>2</sup>/día.

La figura 16 ilustra las capas según el ejemplo 8. Los grosores exactos de las capas (de la pasivación ARC, es decir, la capa de pasivación por encima de la abertura óptica cortada por el eje óptico) son iguales que en el ejemplo 1.

La figura 18 muestra una porción de un elemento del dispositivo óptico transparente que corresponde a una sección cruzada de una porción dentro de la abertura óptica, con una membrana de cubierta transparente plegable 1804, una capa de pasivación 1850 que comprende varias subcapas 1828b secundarias (relativamente finas) debajo de una subcapa 1814 primaria (relativamente gruesa), y varias subcapas 1828b secundarias (relativamente finas) por encima de una subcapa 1814 primaria (relativamente gruesa).

La figura 19 muestra una porción de un elemento del dispositivo óptico transparente que corresponde a una sección cruzada de una porción fuera de la abertura óptica pero en una posición de los actuadores piezoeléctricos con resistores (indicados con los elementos 1906, 1908, 1910), con una membrana de cubierta transparente plegable 1904, una capa de pasivación 1950 que comprende varias subcapas 1928b secundarias (relativamente finas) debajo de una subcapa 1914 primaria (relativamente gruesa), y varias subcapas 1928b secundarias (relativamente finas) por encima de una subcapa 1914 primaria (relativamente gruesa). Además se muestra una capa intermedia 1952, que puede ser una capa de contacto de metal y/o una capa de compensación de la presión. También es posible incluir una capa intermedia dentro de la capa de pasivación, tal y como se describe arriba, en áreas sobre la abertura óptica del miembro de la cubierta transparente plegable, como por ejemplo entre las capas 1814 y 1828a ilustradas en la figura 18.

En resumen, se presenta un elemento del dispositivo óptico transparente (700) que comprende una lente óptica (744), que comprende uno o varios actuadores piezoeléctricos (206, 208, 210), donde dicha lente óptica (744) comprende una abertura óptica (632), y donde el elemento del dispositivo óptico también comprende una capa de pasivación (312, 314, 742, 628) situada sobre dicha lente óptica, comprendiendo dicha capa de pasivación una capa barrera (312) que forma una barrera de humedad y que está ubicada sobre al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, donde el eje óptico corta dicha porción de dicho miembro de la cubierta, y sobre dichos actuadores piezoeléctricos, y donde la capa de pasivación también comprende la capa o capas adicionales (628) situadas sobre al menos dicha porción de dicho miembro de la cubierta cortada por el eje óptico, donde dicha capa de pasivación forma un recubrimiento antirreflectante para dicha lente óptica (744) al menos a lo largo del eje óptico (634).

Aunque la presente invención se ha descrito en relación con las realizaciones específicas, no se debe construir como si estuviera limitado de alguna manera a los ejemplos presentados. El ámbito de la presente invención se expone mediante el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

# REIVINDICACIONES

1. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) que comprende:

a. Una lente óptica (744), que comprende

i. al menos un cuerpo de lente deformable (640) rodeado por una pared lateral (602),

ii. un miembro de la cubierta transparente plegable (104) sujeto a una superficie de dicho, al menos, un cuerpo de lente deformable,

iii. uno o más actuadores piezoeléctricos (206, 208, 210) dispuestos para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada,

donde dicha lente óptica (744) comprende una abertura óptica (632) con un eje óptico (634), donde el eje óptico cruza el cuerpo de la lente y el miembro de la cubierta, y donde los actuadores piezoeléctricos definen la abertura óptica, como si estuviera dispuesta de forma que rodee o circunde la abertura óptica,

b. una capa de pasivación (312, 314, 742, 628) colocada sobre dicha lente óptica, comprendiendo dicha capa de pasivación múltiples subcapas, incluidas:

i. una capa barrera (312), con dicha capa barrera formando una barrera de humedad y situada sobre:

1. al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, donde el eje óptico corta dicha porción de dicho miembro de la cubierta, y

2. dichos actuadores piezoeléctricos,

ii. una capa o más capas adicionales (628) situadas sobre, al menos, dicha porción de dicho miembro de la cubierta cortada por el eje óptico y colocadas para mejorar la propiedad antirreflectante de la capa de pasivación,

donde dicha capa de pasivación forma un recubrimiento antirreflectante para dicha lente óptica (744), al menos, a lo largo del eje óptico (634).

2. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la capa de pasivación comprende:

- una subcapa primaria ubicada en dicho miembro de la cubierta, donde la subcapa primaria es cortada por el eje óptico, y

- una o más subcapas secundarias ubicadas en dicho miembro de la cubierta, donde el eje óptico corta una o más subcapas secundarias,

y donde la subcapa primaria es más espesa que cada una o más subcapas secundarias, y donde la subcapa primaria está situada entre:

- al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, y

- al menos una porción de una o más subcapas secundarias.

3. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde una o más áreas de la capa de pasivación por encima de uno o más actuadores piezoeléctricos comprende una capa conductora de la electricidad, lo cual permite acceder eléctricamente a uno o más actuadores piezoeléctricos, donde dicha capa conductora está situada entre:

- al menos una porción de la capa barrera y

- al menos una porción de una o más capas adicionales.

4. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde una o más áreas de la capa de pasivación por encima de uno o más actuadores piezoeléctricos comprende una capa de compensación de la presión, donde dicha capa de compensación de la presión está situada entre:

- al menos una porción de la capa barrera y

- al menos una porción de una o más capas adicionales.

5. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además, al menos, un elemento de estructura (742) situado sobre dichos actuadores piezoeléctricos (206, 208, 210) y rodeando dicha abertura óptica (632);

donde, al menos un elemento de estructura (742) tiene un diámetro exterior comprendido entre el diámetro del miembro de la cubierta transparente plegable (104) y el diámetro de dicha abertura óptica (632); y

donde dicho miembro de la cubierta transparente plegable (104) está adaptado para proporcionar estabilidad mecánica al elemento del dispositivo óptico transparente (700) y para permitir ajustar la curvatura del miembro de la cubierta transparente plegable (104) entre un radio negativo de curvatura y un radio positivo de curvatura.

6. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos un cuerpo de la lente deformable comprende un polímero.

7. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos uno de los cuerpos de la lente deformable comprende una red polimérica de polímeros reticulados o parcialmente reticulados y un aceite miscible o una combinación de aceites.

8. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos uno de los cuerpos de la lente deformable puede tener un módulo elástico de más de 300 Pa, un índice de refracción superior a 1,35, y una absorbancia en el rango visible inferior al 10 % por milímetro de grosor.

9. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha capa de pasivación permite formar una barrera de humedad donde:

a. la tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) es inferior a  $10^{-1}$  g/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-3}$  g/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-5}$  g/m<sup>2</sup>/día y/o donde

b. la tasa de transmisión de oxígeno (OTR) es inferior a  $10^{-1}$  scc/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-3}$  scc/m<sup>2</sup>/día, por ejemplo, inferior a  $10^{-6}$  scc/m<sup>2</sup>/día,

donde el elemento del dispositivo se encuentra en condiciones atmosféricas estándar, por ejemplo, aire atmosférico y a una temperatura ambiente estándar, por ejemplo, a 20 grados Celcius, y a una presión de, por ejemplo, 100 kPa, y con un 50 % de humedad relativa.

10. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el miembro de la cubierta transparente plegable (104) sobresale del borde de la pared lateral (602).

11. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde uno o más actuadores piezoeléctricos (206, 208, 210) se encuentran situados por encima y en el borde de la pared lateral (602).

12. Un elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde uno o más actuadores piezoeléctricos comprenden un material con

- un coeficiente piezoeléctrico transversal ( $d_{31}$ ) que sea numéricamente numéricamente igual o mayor a 50 pC/N, por ejemplo, preferentemente numéricamente igual o mayor a 100 pC/N, por ejemplo, preferentemente igual o mayor a 200 pC/N,

y/o

- un coeficiente piezolongitudinal ( $d_{33}$ ) numéricamente igual o mayor que 50 pC/N, como, por ejemplo, numéricamente igual o mayor que 100 pC/N, como, por ejemplo, numéricamente igual o mayor que preferentemente  $< -200$  pC/N.

13. Un método (S1250) para fabricar un elemento del dispositivo óptico transparente (700), comprendiendo dicho método:

a. Ofreciendo (S1252) una lente óptica (744), que comprende

i. al menos un cuerpo de lente deformable rodeado por una pared lateral,

ii. un miembro de la cubierta transparente plegable unido a una superficie de al menos un cuerpo de lente deformable,



iii. uno o más actuadores piezoeléctricos dispuestos para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada,

5 donde dicha lente óptica comprende una abertura óptica con un eje óptico, donde el eje óptico corta el cuerpo de la lente y el miembro de la cubierta, y donde los actuadores piezoeléctricos definen la abertura óptica, como si estuviera dispuesta de forma que rodee o circunde la abertura óptica,

10 b. colocando (S1254) una capa de pasivación sobre dicha lente óptica, donde dicha capa de pasivación comprende múltiples subcapas, donde la colocación de dicha capa de pasivación incluye:

i. la colocación (S1256) de una capa barrera, formando dicha capa barrera una barrera de humedad, sobre:

15 1. al menos una porción de dicho miembro de la cubierta, donde el eje óptico corta dicha porción de dicho miembro de la cubierta, y

2. dichos actuadores piezoeléctricos,

20 ii. la colocación (S1258) de una o más capas adicionales sobre al menos dicha porción de dicho miembro de la cubierta cortada por el eje óptico y colocadas para mejorar la propiedad antirreflectante de la capa de pasivación,

de forma que dicha capa de pasivación comprende:

25 - la capa barrera y

- una o más capas adicionales,

30 y de forma que la capa de pasivación permita que uno o más actuadores piezoeléctricos estén dispuestos para configurar dicho miembro de la cubierta con la forma deseada, y de forma que la capa de pasivación forme un recubrimiento antirreflectante para dicha lente óptica al menos a lo largo del eje óptico.

14. Uso de

35 a. el elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones 1-12, para obtener una o más imágenes.

15. Una cámara, un escáner o un atenuador o adaptador óptico variable que comprende

40 a. el elemento del dispositivo óptico transparente (700) según cualquiera de las reivindicaciones 1-12.

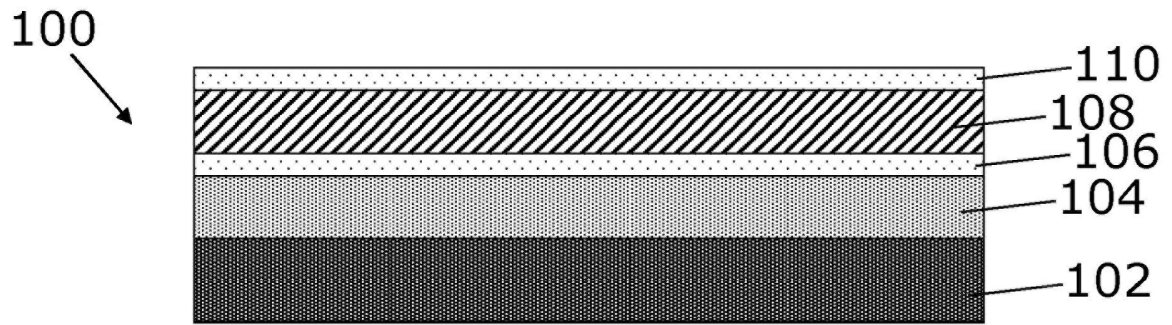


FIG. 1

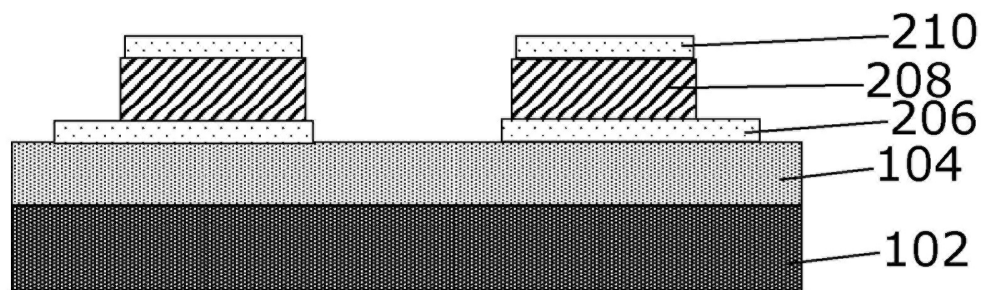


FIG. 2

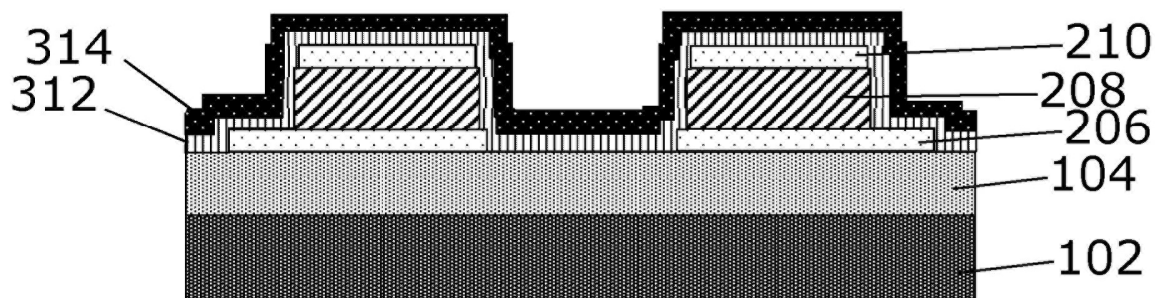


FIG. 3

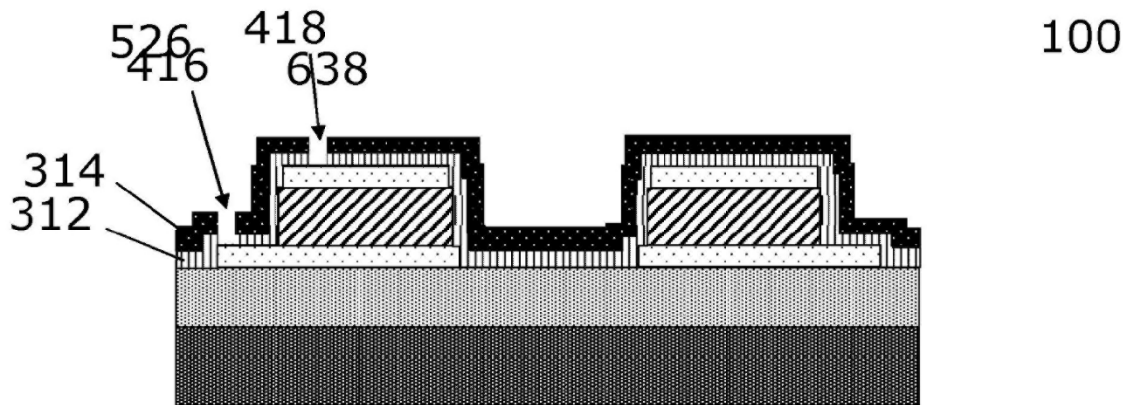


FIG. 4

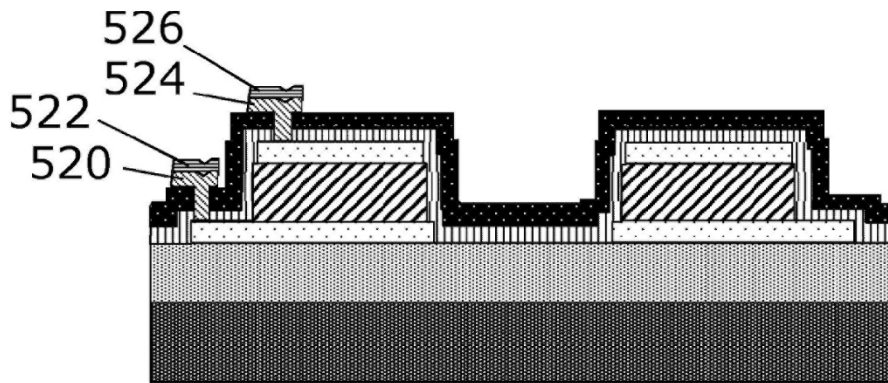


FIG. 5

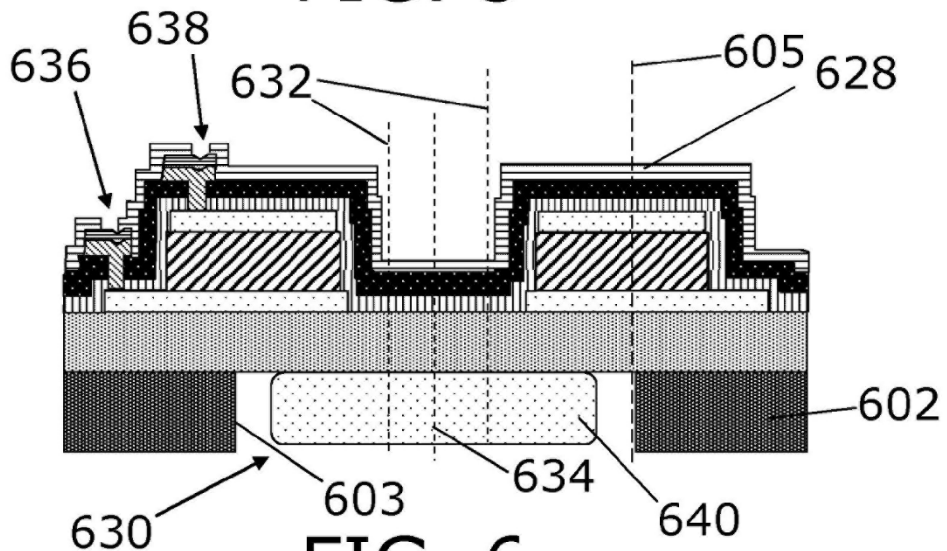


FIG. 6

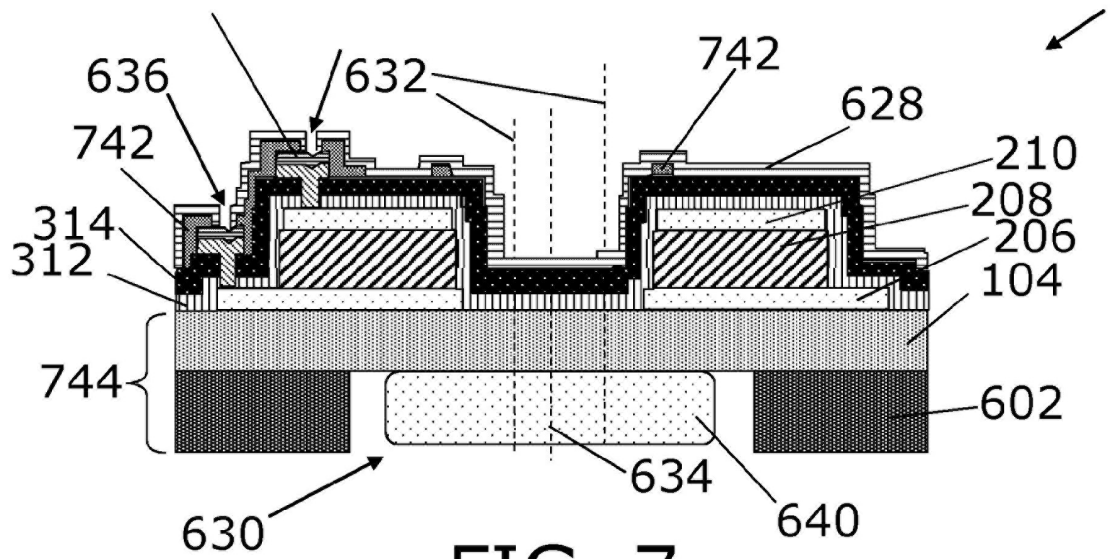


FIG. 7

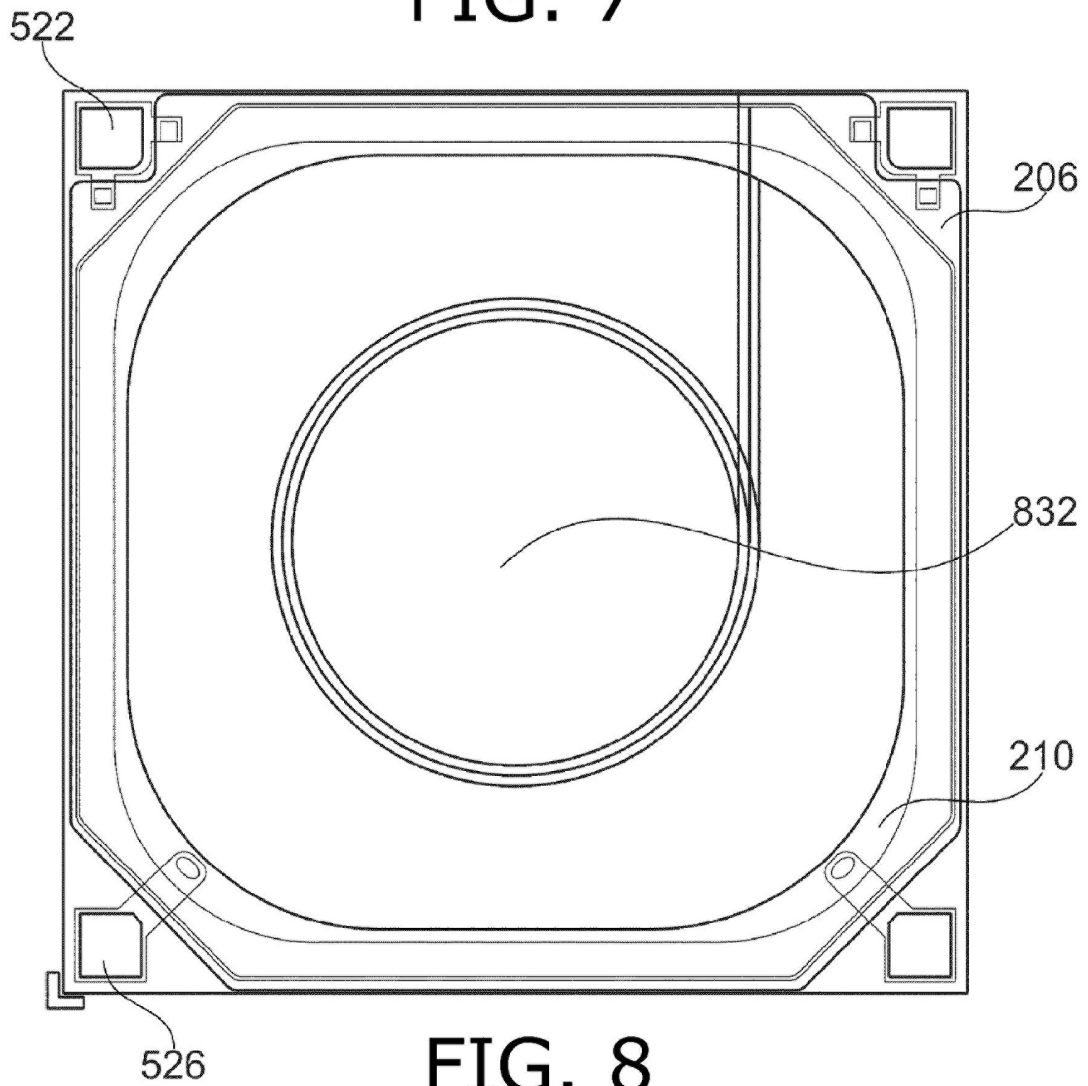


FIG. 8

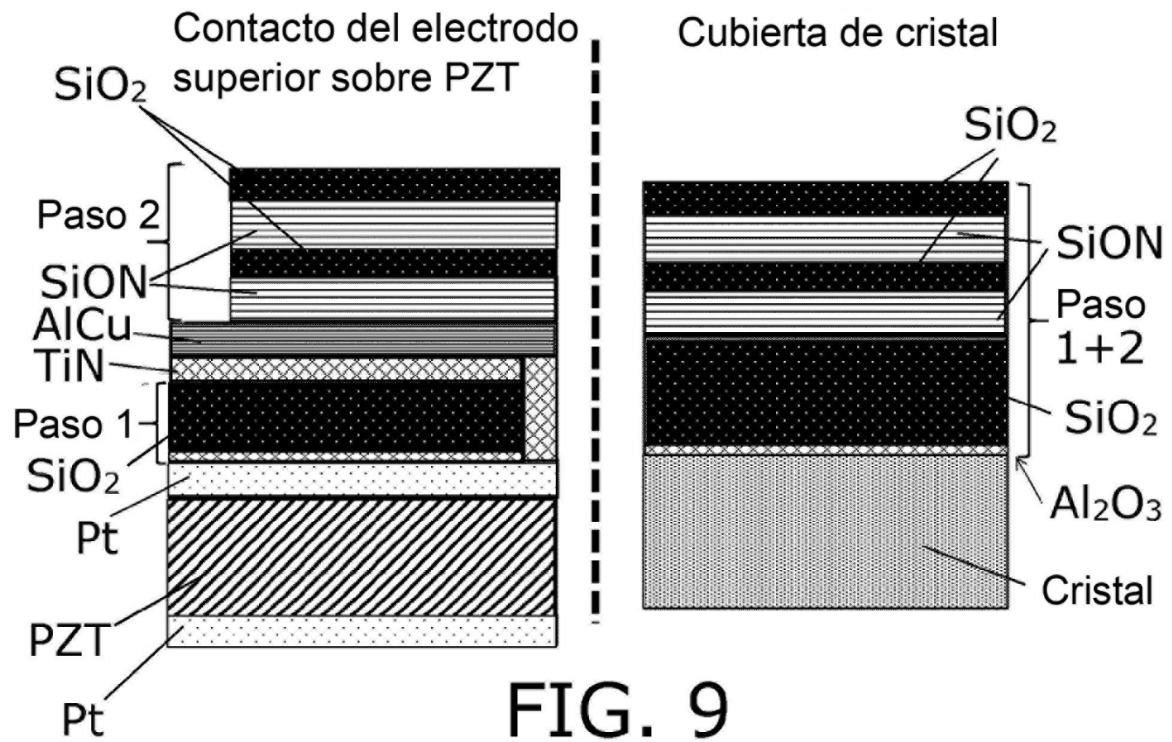


FIG. 9

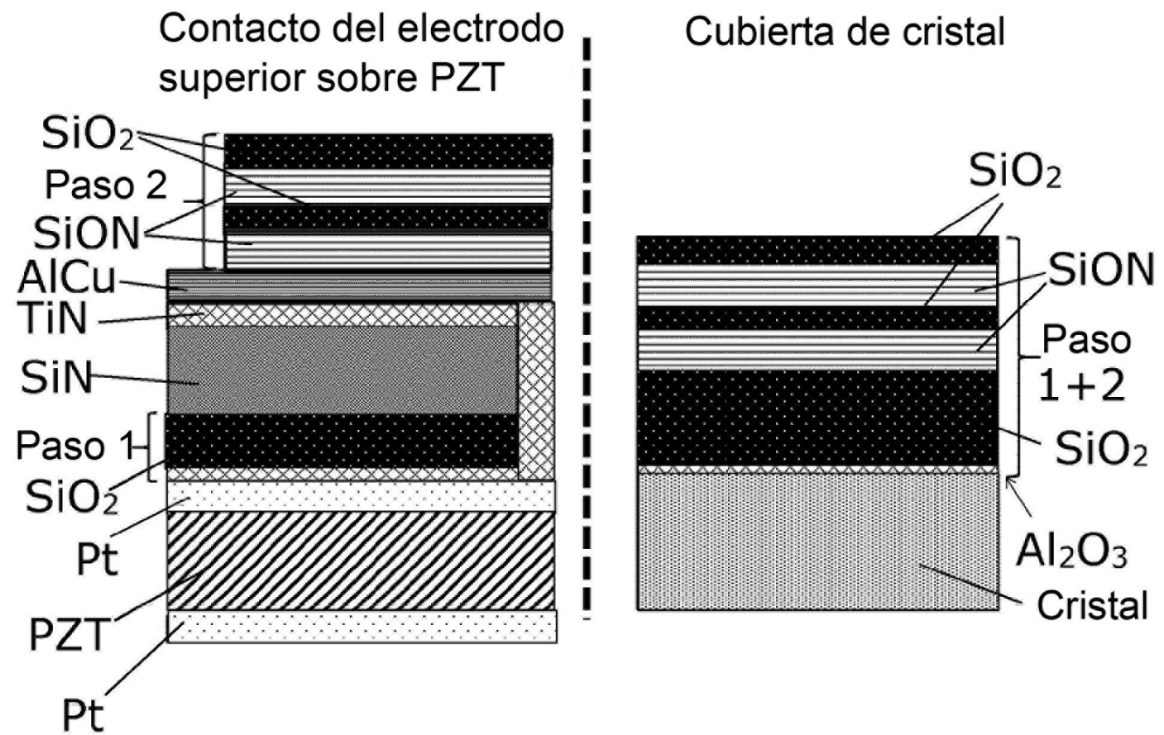
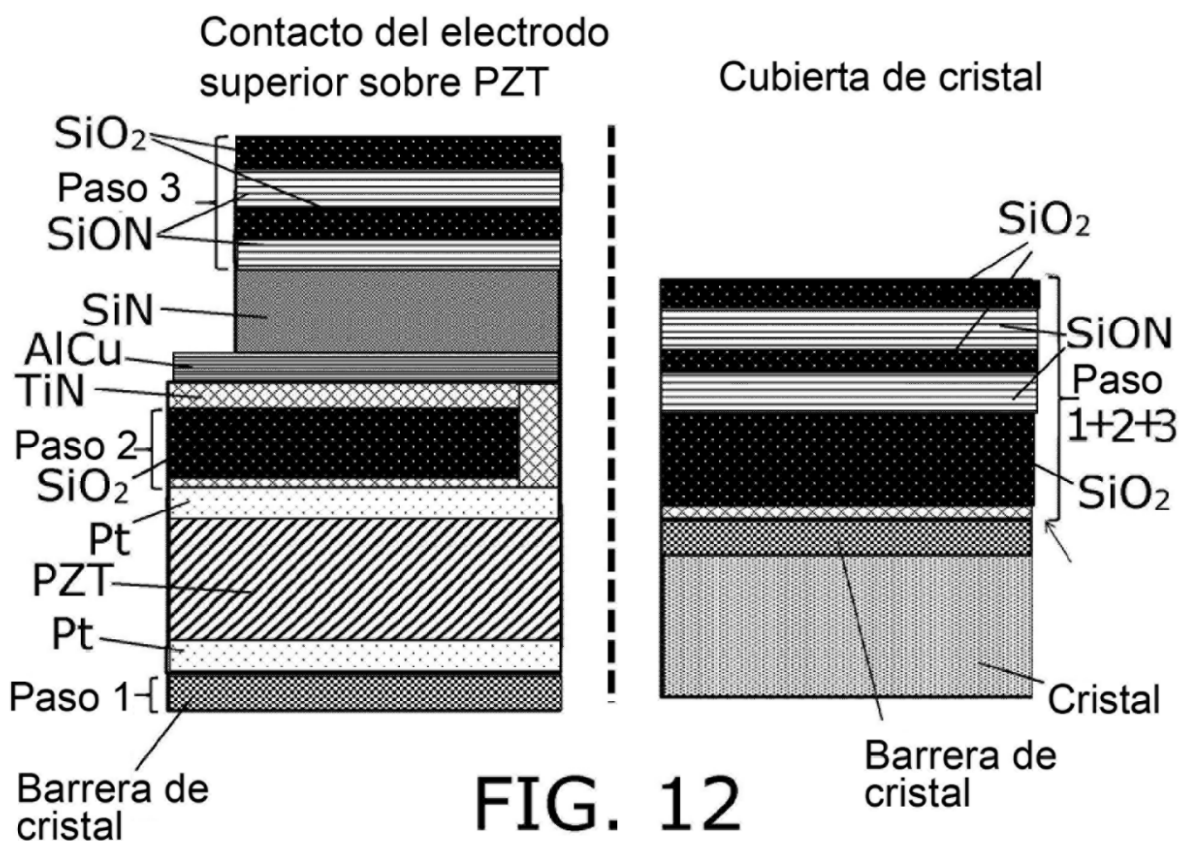
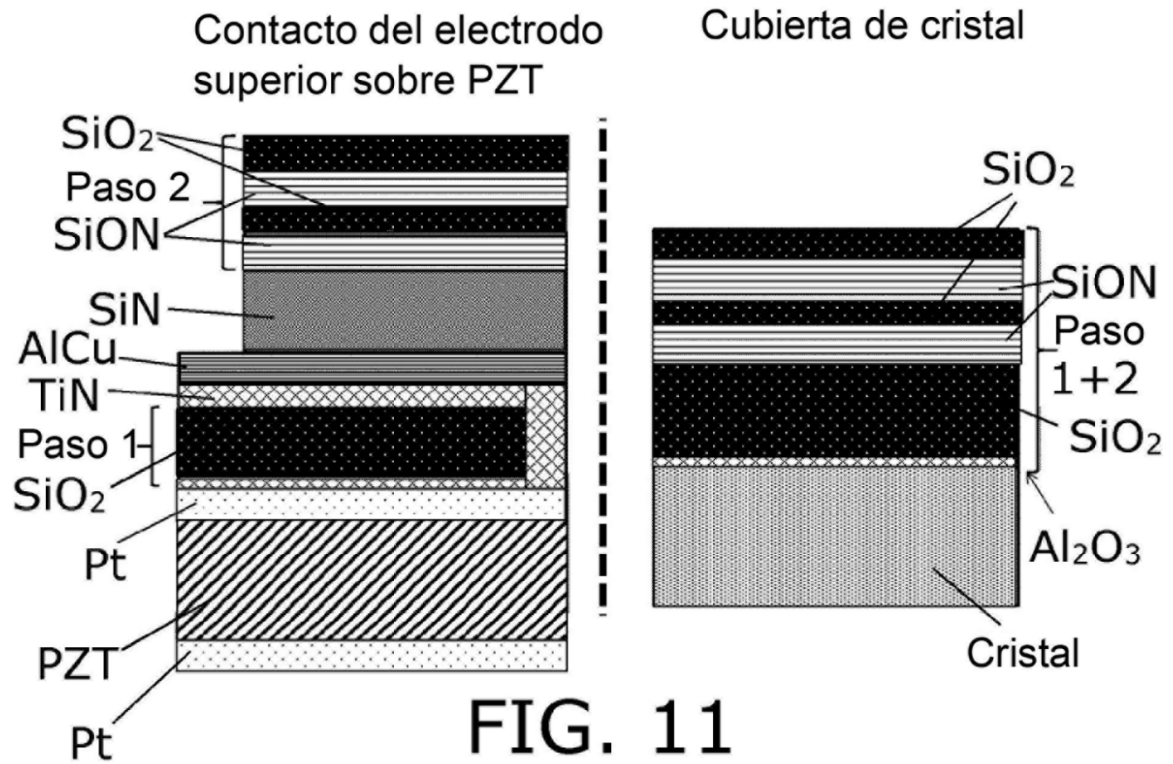
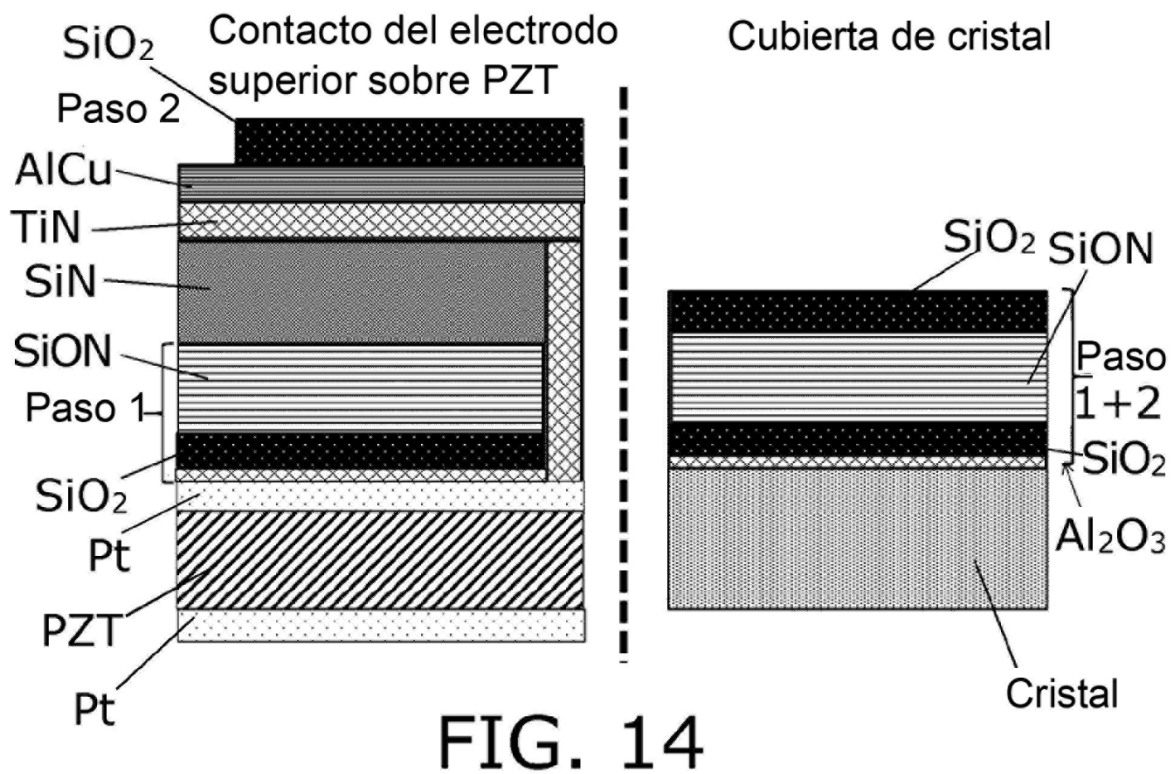
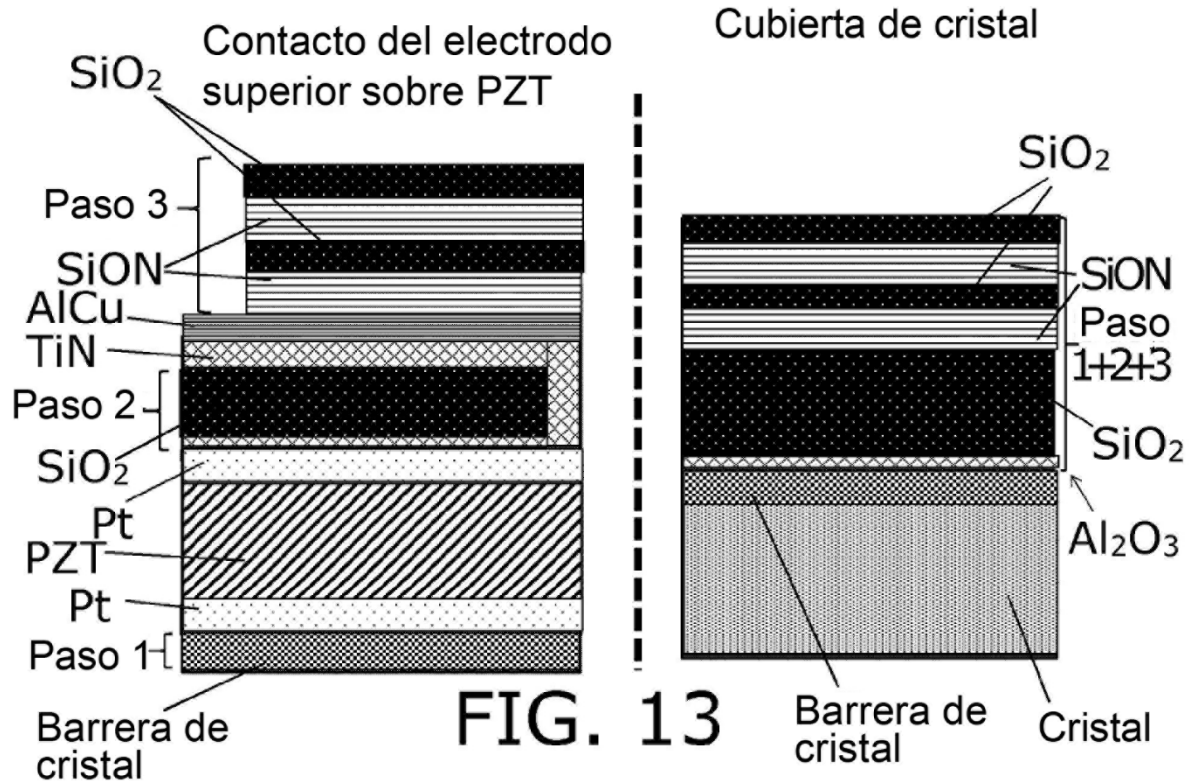


FIG. 10







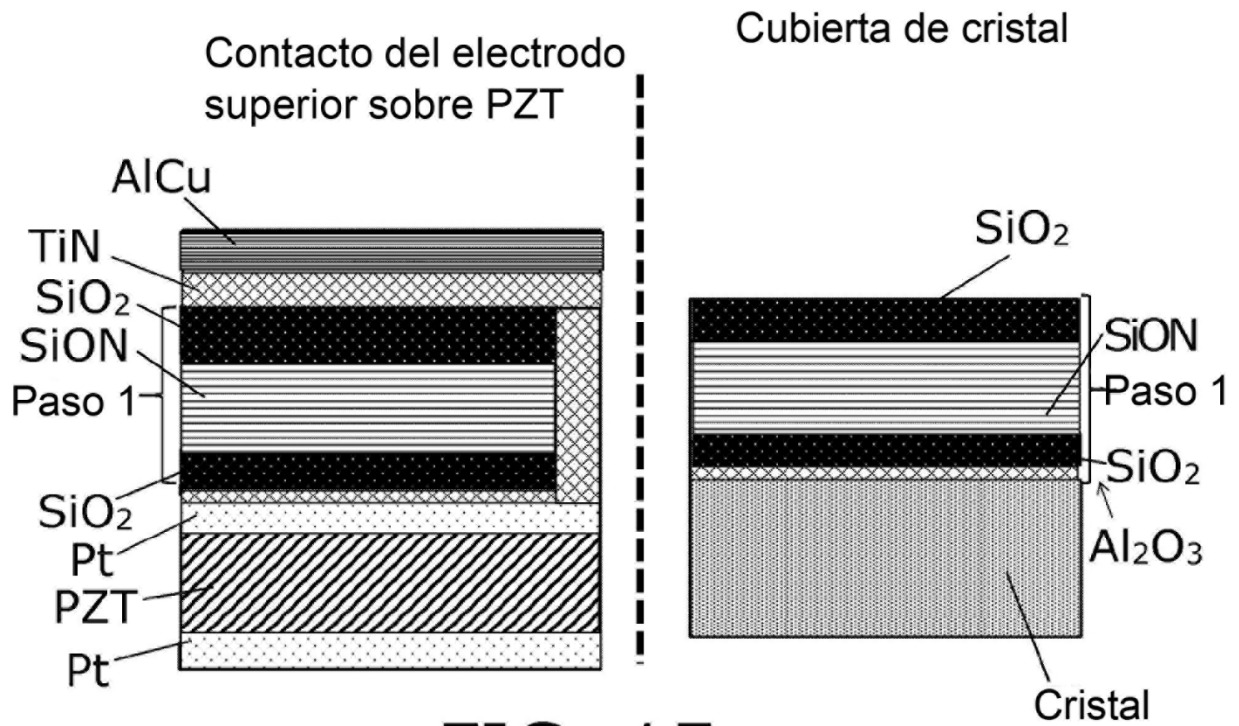


FIG. 15

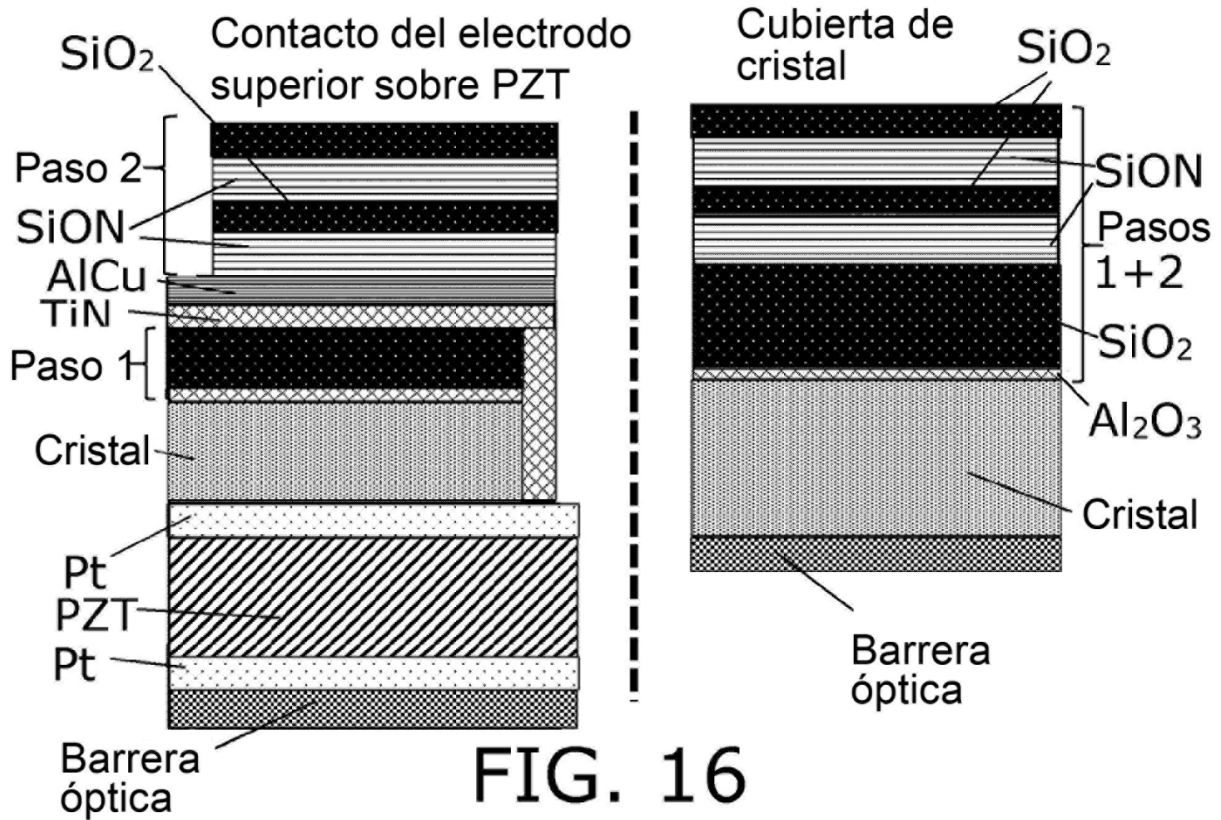


FIG. 16



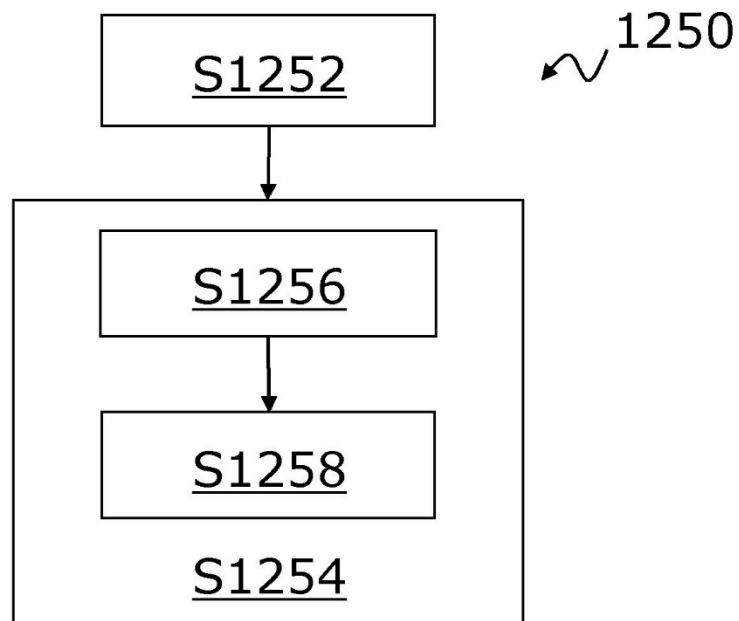


FIG. 17

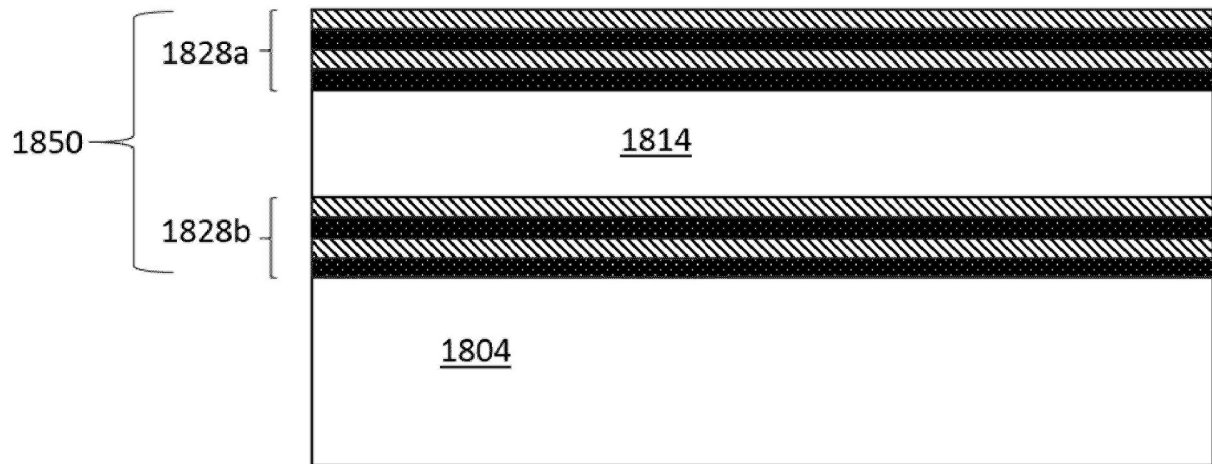


FIG. 18

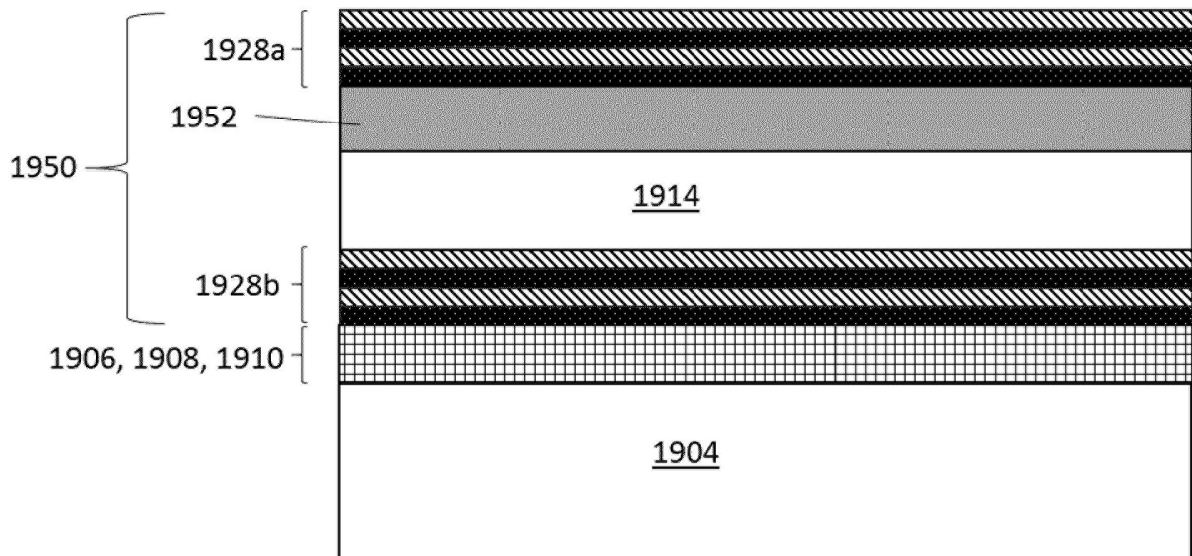


FIG. 19