

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 963**

51 Int. Cl.:

**G02B 1/11** (2015.01)

**G02B 1/113** (2015.01)

**G02B 1/12** (2006.01)

**G02B 1/14** (2015.01)

**G02C 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2014 E 14163993 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 2801846**

54 Título: **Elemento óptico con un revestimiento de elevada difusividad**

30 Prioridad:

**06.05.2013 DE 102013208310**

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

**09.03.2020**

73 Titular/es:

**CARL ZEISS VISION INTERNATIONAL GMBH  
(100.0%)  
Turnstrasse 27  
73430 Aalen, DE**

72 Inventor/es:

**HUGENBERG, NORBERT;  
HAIDL, MARKUS;  
VON BLANCKENHAGEN, BERNHARD;  
HOLZ, LOTHAR;  
KRAUS, STEFAN;  
MACIONCZYK, FRANK;  
KRAUSE, MICHAEL;  
GREEN, ERWIN;  
WINTER, KARL-HEINZ;  
GLÖGE, THOMAS;  
FAUL, SILVIA;  
KOLLO, ANJA;  
PENG, BIN;  
PÜTZ, DR., JÖRG;  
KIEFER, PATRICK;  
HANSSSEN, ADALBERT;  
KRIEGER, MICHAEL;  
NEUFFER, ANDREAS y  
STROISCH, MARC**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 746 963 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**

Elemento óptico con un revestimiento de elevada difusividad

5 La invención se refiere a un elemento óptico, en particular a un cristal para gafas o a una pieza en bruto de un cristal para gafas con un cuerpo de sustrato producido a partir de un material sintético transparente y con un revestimiento que presenta varias capas, que comprende una capa de barniz duro que limita en el cuerpo de sustrato y un revestimiento antirreflectante dispuesto sobre la capa de barniz duro con una estructura monocapa o multicapa.

Un elemento óptico de este tipo es conocido, en forma de una lente óptica configurada como cristal para gafas, p. ej., del documento EP 2 437 084 A1.

10 Para lentes ópticas, en particular para cristales para gafas se emplea hoy en día, en lugar de vidrio de silicato como material, cada vez más material sintético que es transparente en el intervalo espectral visible. Frente al vidrio de sílice, el material sintético ofrece las ventajas de un peso bajo, una mayor resistencia a la rotura, una capacidad de coloración y la posibilidad de incorporar monturas sin bordes. Un inconveniente conocido de las lentes ópticas a base de material sintético es, sin embargo, que su superficie es muy propensa a tensiones mecánicas y puede ser fácilmente dañada mediante rayado.

15 Con el fin de minimizar esta propensión a las tensiones mecánicas y al rayado en el caso de lentes ópticas a base de material sintético, sobre el material sintético se aplica un revestimiento con una capa de barniz duro que ha de proteger a la lente óptica frente a influencias mecánicas.

20 Además, es conocido proveer a elementos ópticos de un revestimiento para eliminar los reflejos. En el caso de cristales para gafas se pueden evitar con ello reflejos perturbadores. Revestimientos para eliminar los reflejos contienen, por norma general, al menos una capa a base de un material oxídico inorgánico que es ópticamente transparente. Un revestimiento para eliminar los reflejos puede contener, en particular, una secuencia de capas a base de material oxídico ópticamente transparente e inorgánico, en el que capas con un primer índice de refracción y capas con un segundo índice de refracción, más elevado con respecto al primer índice de refracción, alternan sucesivamente.

25 Además de ello, es conocido configurar un elemento óptico con un revestimiento para eliminar los reflejos, el cual proteja también frente al rayado. En el documento EP 0 698 798 A2 se propone, p. ej., para ello un revestimiento para eliminar los reflejos que contiene una capa a base de vidrio de borosilicato, la cual es depositada en fase de vapor mediante un procedimiento de PVD (siglas inglesas de deposición física de vapor) sobre un cuerpo de sustrato previamente revestido.

30 En un revestimiento sobre un cuerpo de sustrato a base de material sintético pueden formarse defectos que son desencadenados por el almacenamiento de vapor de agua o bien moléculas de agua en el cuerpo de sustrato, cuando éste entra en contacto con la humedad, es decir, con el agua o vapor de agua, pero también con medios de limpieza habituales, tales como, p. ej., alcohol o acetona.

35 En el documento US 2011/058142 A1 se describe un revestimiento para cristales para gafas con una capa de barniz duro que se compone de dos capas parciales de resina dura, dispuestas una sobre otra. Aquí, la capa parcial inferior es tratada con una descarga corona o se prepara con un tensioactivo fluorado como aditivo de igualación.

Por norma general, un revestimiento tiene un efecto que al menos obstaculiza el paso, a menudo incluso que lo bloquea para estas sustancias, con las cuales entra constantemente en contacto en particular un cristal para gafas a lo largo de su vida útil.

40 El documento US 2011/305827 A1 da a conocer un revestimiento para cristales para gafas que presenta una capa con una estructura de poros. Esta capa con estructura de poros tiene un efecto anti-ensuciamiento. Está aplicada como una capa de cubrición sobre una capa sobre la superficie del cuerpo de sustrato.

45 Cuando estas sustancias, p. ej., en virtud de deterioros del revestimiento, penetran en un elemento óptico, esto puede tener como consecuencia el que en el elemento óptico el cuerpo de sustrato o también una capa aplicada sobre este, tal como, p. ej., una capa de barniz duro, se hinche. Por norma general, esto conduce entonces en el caso del elemento óptico a modificaciones locales de una superficie ópticamente activa. En virtud de un solo punto de rayado, el elemento óptico puede ser por consiguiente fácilmente dañado de este modo en una zona, la cual se extiende a lo largo de un milímetro cuadrado o también de varios milímetros cuadrados. En esta zona, una superficie ópticamente activa del elemento óptico puede también elevarse, a menudo en 0,1  $\mu\text{m}$  o incluso en hasta 1  $\mu\text{m}$ .

Ciertamente, las sustancias que han penetrado en una capa de este tipo a base de resina dura y/o un cuerpo de material sintético salen con el tiempo de nuevo por difusión, cuando el elemento óptico ya no es expuesto a las sustancias en cuestión. Estos procesos de difusión conducen, sin embargo, a modificaciones locales del volumen que en parte son irreversibles. En particular, provocan deformaciones de la superficie, las cuales, p. ej., no solo determinan dibujos de puntos y rayas (rechazo) sobre un revestimiento, sino que en el caso de cristales para gafas pueden provocar también estrías reconocibles a simple vista bajo iluminación del entorno y, además de ello, también defectos de la capa en virtud de tensiones mecánicas.

Misión de la invención es, por lo tanto, proporcionar un elemento óptico con un revestimiento duradero y con ello resistente al rayado sobre un cuerpo de sustrato a base de material sintético e indicar un procedimiento para la fabricación de un elemento óptico de este tipo.

Este problema se resuelve mediante un elemento óptico con las características de la reivindicación 1 y un procedimiento con las características de la reivindicación 10. Formas de realización ventajosas de la invención se indican en las reivindicaciones dependientes.

Los autores de la invención han reconocido que en el caso de un elemento óptico se puede suprimir la aparición de defectos de un revestimiento aplicado sobre un cuerpo de sustrato a base de material sintético, al garantizar que el revestimiento tenga, en particular, una permeabilidad para el vapor de agua o bien moléculas de agua que posibilite el almacenamiento y la expulsión de moléculas de agua en el cuerpo de material sintético en una escala del tiempo, que no supere en más de aproximadamente cinco veces, es decir, en no más de aproximadamente la mitad de un orden de tamaño la escala del tiempo para el almacenamiento y la expulsión de moléculas de agua en los puntos en los que está dañado un revestimiento, es decir, la escala del tiempo para el almacenamiento y la expulsión de moléculas de agua cuando el cuerpo de material sintético no está revestido.

Un elemento óptico de acuerdo con la invención puede estar configurado en forma de una lente, en particular como un cristal para gafas. Tiene un cuerpo del sustrato a base de material sintético que es transparente en el intervalo espectral visible. Un elemento óptico de acuerdo con la invención tiene un revestimiento con varias capas que comprende una capa de barniz duro contigua al cuerpo de sustrato.

El revestimiento sobre el cuerpo de sustrato tiene una difusividad  $D_F$  que garantiza la absorción de moléculas de agua que penetran a través del revestimiento en el cuerpo de sustrato y la liberación de moléculas de agua a partir del cuerpo de sustrato a través del revestimiento desde una atmósfera de aire dispuesta sobre una cara del revestimiento alejada del cuerpo de sustrato, con una densidad de flujo de humedad  $j_D$  que, partiendo del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato en una atmósfera de aire a 23°C y 50% de humedad relativa del aire, determina el ajuste del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato en una atmósfera de aire a 40°C y 95% de humedad relativa del aire dentro de un intervalo de tiempo que no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 10$  h, preferiblemente no mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 9$  h o  $\Delta t = 8$  h o  $\Delta t = 7$  h o  $\Delta t = 6$  h o  $\Delta t = 5$  h o  $\Delta t = 4$  h o  $\Delta t = 3$  h o  $\Delta t = 2$  h, de manera particularmente preferida no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 1$  h que el intervalo de tiempo requerido para el ajuste de este estado de equilibrio bajo condiciones correspondientes en el caso de un cuerpo de sustrato no revestido idéntico al cuerpo de sustrato.

Por la difusividad  $D_F$  de un revestimiento se entiende en este caso la permeabilidad del revestimiento, en particular para moléculas de agua y vapor de agua, es decir, la capacidad del revestimiento de permitir, en particular, la difusión de vapor de agua y moléculas de agua a través del revestimiento.

La difusividad  $D_F$  de un revestimiento relaciona la densidad de flujo de humedad  $j_D$  para el flujo de humedad que atraviesa el revestimiento con la densidad  $c_{FS}$  de moléculas de agua en el cuerpo de sustrato mediante difusión de moléculas de agua almacenadas y la densidad  $c_{FG}$  de moléculas de agua en la atmósfera gaseosa sobre la cara del revestimiento alejada del cuerpo de sustrato, como sigue:

$$j_D = D_F (c_{FG} - \alpha c_{FS}),$$

en donde  $\alpha$  es una constante.

En el sentido de la invención, la cantidad de las moléculas de agua incorporadas en el cuerpo de sustrato se encuentra en un estado de equilibrio cuando el número de moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato no se modifica en el espacio de 24 h en más de 1%.

La cantidad de las moléculas de agua almacenadas en un cuerpo de sustrato puede medirse, p. ej., por gravimetría o también, tal como por ejemplo se describe en la publicación de U. Schulz et al., Near-infrared spectroscopy for

monitoring water permeability of optical coatings on plastics, Applied Optics, 862 26 (1997), mediante medición de un espectro de absorción para el cuerpo del sustrato en el intervalo espectral infrarrojo.

5 Por la humedad relativa del aire se entiende aquí la relación de la masa de vapor de agua en el aire contenida en realidad a la máxima posible. La humedad relativa del aire es la relación entre la humedad del aire absoluta y la humedad del aire máxima del aire a una temperatura T determinada, es decir, la relación de la fase de vapor de agua  $m_w$  contenida en un volumen de aire V a la fase de vapor de agua posible máxima en el volumen de aire V a la temperatura T, cuando la presión parcial del vapor de agua en el aire es igual a la presión del vapor de saturación del agua.

10 El material sintético del cuerpo del sustrato puede ser, p. ej., un poliuretano, un politiuretano, PMMA, un policarbonato, un poliacrilato o un polidietilenglicolbisisilcarbonato (CR 39). Además de ello, en el caso del material sintético se puede tratar también de un material de la serie de productos MR de la razón social Mitsui Chemicals, p. ej., el material MR-10<sup>®</sup>, MR-7<sup>®</sup>, MR-8<sup>®</sup> o MR-174<sup>®</sup>, o del material Trivex.

15 La capa de barniz duro en el elemento óptico de acuerdo con la invención es preferiblemente transparente en el intervalo espectral visible. En la medida de lo posible tiene un índice de refracción que corresponde al índice de refracción del material sintético del cuerpo de sustrato o que se encuentra en la proximidad de este índice de refracción, con el fin garantizar una buena permeabilidad óptica y evitar interferencias de color indeseadas. La capa de barniz duro está aplicada, p. ej., con un procedimiento de inmersión, un procedimiento de pulverización o un procedimiento de revestimiento por centrifugación. Básicamente, no obstante, es posible aplicar la capa de barniz duro sobre el cuerpo del sustrato también con otros procedimientos conocidos.

20 La capa de barniz duro se prepara a partir de una composición de barniz duro sol-gel, p. ej., una composición de barniz duro sol-gel a base un polímero acrílico, un polímero epoxi, un polímero de uretano, un polímero de melamina, o también de un material inorgánico, en particular de un material inorgánico a base de cuarzo, tal como, p. ej., siloxano. El material para la composición de barniz duro sol-gel puede ser también un material cerámico modificado orgánicamente, en el que en una matriz de polisiloxano está incorporado, en lugar de un átomo de oxígeno, un átomo de metal, por ejemplo titanio. De acuerdo con una forma de realización particularmente preferida, la composición de barniz duro sol-gel es una resina de silicona inorgánica-orgánica.

25 Un elemento óptico de acuerdo con la invención tiene preferiblemente un revestimiento con una resistencia al rayado que corresponde a un índice Bayer  $Z_B$ , determinado en un ensayo de Bayer ampliado, que caracteriza la resistencia al rayado de un revestimiento con  $Z_B \geq 8$ , preferiblemente  $Z_B \geq 10$ , en particular  $Z_B \geq 14$ .

30 Por un revestimiento del test de Bayer para la caracterización de la resistencia al rayado de un revestimiento de un elemento óptico se entiende aquí el ensayo de la resistencia al rayado de Colts Laboratories para cristales para gafas, aplicado de manera correspondiente sobre un revestimiento de este tipo, descrito en lo que sigue: en el caso de este ensayo se hace pasar una cantidad determinada de partículas de aristas vivas por encima de la superficie del cristal para gafas y, a continuación, se evalúa ópticamente el cristal para gafas. En el caso del test de Bayer de  
35 Colts Laboratories para ello se hace pasar un material abrasivo por encima de cristales de ensayo fijados en un fondo de una pequeña cubeta y cristales de referencia en forma de cristales para gafas no revestidos a base del material sintético CR39 (polialildiglicolcarbonato) con una densidad óptica de 0 dioptrías mediante un movimiento lateral de la cubeta. A continuación, los cristales de ensayo se evalúan midiendo la cantidad de la luz dispersada generada a través del rayado. El resultado del ensayo es un número que indica cuanto más resistente es el cristal de  
40 ensayo frente al cristal de referencia a base del material CR39 no revestido, es decir, polialildiglicolcarbonato.

45 Un elemento óptico de acuerdo con la invención puede tener, en particular, un revestimiento aplicado sobre el cuerpo de material sintético que contenga al menos un revestimiento antirreflectante con al menos una capa que esté compactada preferiblemente mediante bombardeo con iones, preferiblemente mediante bombardeo con iones a una densidad de corriente iónica  $I > 30 \mu A/cm^2$  en el lugar de la capa parcial durante el tiempo de un proceso de deposición en fase de vapor para la creación de la capa parcial.

50 El revestimiento antirreflectante aplicado sobre la capa de barniz duro puede tener, por lo tanto, en el caso de un elemento óptico de acuerdo con la invención, una estructura monocapa o multicapa. Preferiblemente, para un revestimiento antirreflectante se elige una estructura de dos, tres, cuatro, cinco o seis capas. En el caso de revestimientos antirreflectantes con una estructura de dos o más capas, es ventajosa una secuencia de capas en la que a una capa con un bajo índice de refracción limite una con un elevado índice de refracción. En otras palabras, para una estructura multicapa de este tipo es favorable que sucedan de forma alternante capas con un bajo índice de refracción y capas con un elevado índice de refracción. Adicionalmente, pueden estar previstas otras capas, por ejemplo capas adherentes (p. ej., con un grosor en un intervalo de aprox. 5 nm a 5  $\mu m$ ), las cuales no tienen que presentar función óptica alguna, pero que pueden ser ventajosas para la estabilidad, propiedades de adherencia,

estabilidad frente al clima, etc. Por ejemplo, también es posible reemplazar el revestimiento antirreflectante precedente por un revestimiento de azogue que comprende una o varias capas de azogue y eventualmente capas antirreflectantes o prever tanto un revestimiento antirreflectante como un revestimiento de azogue.

5 Ejemplos de materiales adecuados para un revestimiento antirreflectante o bien de azogue son, p. ej., silicio o boro, pero también óxidos, fluoruros, siliciuros, boruros, carburos, nitruros, así como sulfuros de metales y no metales. Para el revestimiento, estas sustancias pueden emplearse individualmente o también en forma de mezcla de dos o varios de estos materiales.

10 En particular, para la creación de un revestimiento antirreflectante se adecúan los materiales  $\text{SiO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ti}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CrO}_x$  (con  $x = 1-3$ ), tales como, p. ej.,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CeO}_2$  y  $\text{HfO}_2$  etc. o correspondiente óxidos mixtos, los materiales  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  y  $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$ , así como los materiales Cr, W, Ta y Ag.

15 Un revestimiento antirreflectante o bien de azogue adecuado puede aplicarse mediante procedimientos habituales, siendo preferido crear las distintas capas mediante deposición en fase de vapor, pulverización catódica y/o mediante procedimientos CVD, en particular mediante procedimientos CVD sustentados en plasma. Es particularmente preferido aplicar un revestimiento antirreflectante mediante deposición en una fase de vapor, de modo que se forme una capa compacta con una elevada resistencia a la abrasión.

20 El grosor de capa  $d_A$  de un revestimiento antirreflectante con una estructura monocapa o multicapa no está sujeto básicamente a limitación particular alguna. Sin embargo, preferiblemente, se ajusta a un grosor  $d_A$ , con  $d_A \leq 2000$  nm, preferiblemente  $d_A \leq 1500$  nm, de manera particularmente preferida  $d_A \leq 500$  nm. El grosor de capa mínimo  $d_{Am}$  del revestimiento antirreflectante se encuentra, sin embargo, en lo posible en aproximadamente  $d_{Am} \geq 100$  nm.

25 Por ejemplo, un revestimiento antirreflectante de este tipo puede estar constituido por capas de alto o bien bajo índice de refracción alternas a base de  $\text{TiO}_2$  o bien  $\text{SiO}_2$  con, por ejemplo,  $\lambda/8\text{-TiO}_2$ ,  $\lambda/8\text{-SiO}_2$ ,  $\lambda/2\text{-TiO}_2$  y  $\lambda/4\text{-SiO}_2$ . en donde el grosor de capa indicado está referido en este caso preferiblemente a la longitud de onda  $\lambda = 550$  nm. Un revestimiento antirreflectante de este tipo con una estructura multicapa puede generarse, en particular, mediante procedimientos PVD (deposición física de vapor) conocidos.

Con el fin de que el revestimiento correspondiente para el elemento óptico tenga una elevada resistencia al rayado, es ventajoso que éste contenga al menos una capa de cuarzo que consista esencialmente en  $\text{SiO}_2$  o en una capa consistente en una mezcla a base de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con un grosor de capa  $d \geq 100$  nm.

30 Los autores de la invención han reconocido que la naturaleza de la superficie de la capa de barniz duro, en particular la energía interfacial  $\sigma_S$  de esta superficie para la difusividad  $D_F$  de un revestimiento, que comprende otras capas aplicadas sobre la capa de barniz duro, tales como, p. ej., capas parciales aplicadas sobre la capa de barniz duro juega un papel determinante para un revestimiento antirreflectante.

35 La energía interfacial  $\sigma_S$  de la superficie de un sustrato es una medida de la cantidad de energía que se requiere para modificar esta superficie. Se determina mediante fuerzas intermoleculares en la superficie que se pueden descomponer en una porción dispersiva que se remonta a las fuerzas intermoleculares de van der Waals, y en una porción polar, cuyo origen son momentos dipolares permanentes de moléculas en la capa de barniz duro.

40 La energía interfacial  $\sigma_S$  de una superficie puede descomponerse, por lo tanto, tal como, p. ej., en la publicación Kui-Xiang Ma et al., Investigation of surface energy for organic light emitting polymers and indium tin oxide, Thin Solid Films, 140 371 (2000) en una porción dispersiva  $\sigma_S^{\text{dispersiva}}$  provocada por los dipolos permanentes de las moléculas y una porción polar  $\sigma_S^{\text{polar}}$ , cuyo origen son las fuerzas de van der Waals.

Los autores de la invención han encontrado que cuando la aportación de la porción polar  $\sigma_S^{\text{polar}}$  a la energía interfacial  $\sigma_S = \sigma_S^{\text{dispersiva}} + \sigma_S^{\text{polar}}$  de la capa de barniz duro es la mayor posible, se puede aumentar de manera decisiva la difusividad de un revestimiento con una o varias capas parciales de un revestimiento antirreflectante aplicadas sobre la capa de barniz duro.

45 De acuerdo con la invención, esto se alcanza particularmente al tratar la capa de barniz duro sobre el sustrato con una descarga corona.

50 En el caso del tratamiento de la capa de barniz duro sobre el sustrato con una descarga corona, el sustrato se dispone con la capa de barniz duro aplicada sobre el mismo en una atmósfera gaseosa a la presión atmosférica entre dos electrodos a los que se aplica una tensión alterna situada en el intervalo de kV. El diseño de los electrodos se elige en este caso de modo que se presenta una descarga de barrera dieléctrica en la que se aceleran

únicamente electrones, cuyo recorrido libre medio es bajo. Modificaciones de la superficie no pueden ser inducidas sin embargo en este caso solo mediante la propia descarga corona, sino también por vía química mediante el ozono que resulta en este caso.

5 El aumento de la porción polar de la energía interfacial puede alcanzarse también de acuerdo con la invención debido a que la capa de barniz duro es tratada sobre el sustrato con un plasma de aire a baja presión.

10 Un elemento óptico en forma de un cristal para gafas o bien una pieza en bruto para un cristal para gafas se dispone para ello en un anillo de soporte, p. ej., en un anillo de soporte de un bastidor de lavado en una cámara de plasma. En esta cámara, se mantiene con microondas una descarga de plasma a baja presión. El plasma generado con ello es preferiblemente un plasma no térmico, es decir, los electrones tienen en el plasma una elevada temperatura, por el contrario, la temperatura de los iones en el plasma de baja presión es baja. El plasma de baja presión se hace funcionar preferiblemente en un intervalo de presiones  $P \approx 10$  Pa. Mediante la disposición en el plasma, se cargan las superficies de material sintético del cristal para gafas correspondiente, de modo que los iones positivos son acelerados en el plasma e interactúan con la superficie del barniz duro. Es ventajoso prever en la cámara de plasma un apantallamiento de microondas que posibilite la disposición de grupos constructivos eléctricamente conductores directamente en la cámara de plasma. Una cámara de plasma de este tipo puede ser hecha funcionar, en particular, 15 con una atmósfera gaseosa a base de oxígeno puro, argón, una mezcla a base de oxígeno y nitrógeno o una mezcla a base de oxígeno y argón.

Además de ello, una idea de la invención es tratar la capa de barniz duro con una descarga luminiscente y, con ello, aumentar la porción polar de la energía interfacial.

20 Para ello, el sustrato se dispone con una capa de barniz duro aplicada sobre el mismo en una cámara de vacío con una atmósfera gaseosa a baja presión, cuya presión se encuentra en el intervalo de presiones entre 0,1 Pa y 1 Pa. La cámara de vacío contiene un electrodo luminiscente para la generación de una descarga de descarga luminiscente que interactúa con la superficie de la capa de barniz duro. La atmósfera gaseosa en la cámara de vacío se compone preferiblemente de oxígeno, argón, aire o mezclas correspondientes de estos gases.

25 Una idea de la invención consiste también en aumentar la aportación de la porción polar  $\sigma_s^{\text{polar}}$  a la energía interfacial  $\sigma_s = \sigma_s^{\text{dispersivo}} + \sigma_s^{\text{polar}}$  de la capa de barniz duro, preparando la capa de barniz duro con una composición de barniz duro sol-gel que contiene un tensioactivo fluorado como aditivo de igualación.

30 Una idea de la invención consiste, además de ello, también en aumentar la difusividad del revestimiento aplicado sobre el sustrato en la dirección perpendicular a la superficie en la que se incorporan en el revestimiento una pluralidad de poros, preferiblemente microscópicos y/o mesoscópicos, es decir, poros cuyos diámetros son pequeños con respecto a la longitud de onda de la luz visible, pero que son mucho mayores que las dimensiones de átomos o moléculas situados en el orden de magnitud de uno o varios Angström (Å). Estos poros microscópicos y/o mesoscópicos pueden tener particularmente la forma de agujeros y se extienden partiendo de la superficie del revestimiento sobre la cara alejada del cuerpo de sustrato al menos hasta la capa de barniz duro.

35 Con el fin de que estas estructuras no se vuelvan perturbadoras de forma difractiva, en este caso éstas no forman dibujos regulares con longitudes de períodos en el orden de magnitud de la longitud de onda de la luz, sino más bien poros microscópicos o bien mesoscópicos que están distribuidos de manera irregular sobre el elemento óptico correspondiente.

40 Básicamente, las estructuras pueden estar dispuestas en al menos un tramo del revestimiento también de forma simétrica de translación. Esta simetría de translación no debe, sin embargo, consistir en un intervalo de longitudes cuyo orden de magnitud se encuentre fuera de las longitudes de onda de la luz visible. Con otras palabras, la frecuencia en el espacio k de la disposición de los poros microscópicos y/o mesoscópicos debe satisfacer la siguiente relación:  $k \gg 1 / 400 \text{ nm}$  o  $k \ll 1 / 800 \text{ nm}$ .

45 En el marco de la invención, estas estructuras correspondientes están distribuidas estadísticamente por la superficie en forma de agujeros, p. ej., de manera similar a una carga de perdigones. Estos agujeros actúan entonces como canales de difusión microscópicos o bien mesoscópicos. Estos se encuentran tan juntos que mediante los procesos de expansión ya no aparecen ondulaciones locales macroscópicas, que se manifiestan ópticamente perturbadoras o en cuya sucesión se deforman mucho localmente las capas de eliminación de los reflejos, de modo que se perjudica su adherencia a las capas situadas por debajo.

50 El diámetro  $D_L$  de los agujeros satisface en este caso preferiblemente la siguiente relación:  $D_L \leq 5 \mu\text{m}$ , preferiblemente  $D_L \leq 1 \mu\text{m}$ , de manera particularmente preferida  $D_L \leq 0,2 \mu\text{m}$ .

Los poros mesoscópicos se preparan de acuerdo con la invención, p. ej., mediante solicitud del revestimiento con un chorro de partículas preferiblemente de alta energía, en particular mediante solicitud con un chorro de partículas que contienen átomos de gases nobles y/o átomos de carbono y/o átomos de oro. Alternativamente a ello, es también posible generar los poros mesoscópicos mediante solicitud del revestimiento con luz láser pulsada.

5 Una idea de la invención consiste también en añadir al menos a una capa interna del revestimiento, en particular sobre la capa de barniz duro y/o sobre o en el cuerpo de sustrato, sustancias extrañas en forma de moléculas extrañas o nanopartículas, y/o aplicar estructuras extrañas al menos a una capa interna del revestimiento, en particular a la capa de barniz duro.

10 Los poros mesoscópicos pueden producirse, p. ej., mediante solicitud del revestimiento con un chorro de partículas preferiblemente de alta energía, en particular mediante solicitud con un chorro de partículas que contiene átomos de gases nobles y/o átomos de carbono y/o átomos de oro, con el fin de obtener con ello un elevado valor para la difusividad del revestimiento sobre el cuerpo del sustrato.

En lo que sigue se explica con mayor detalle la invención con ayuda de los ejemplos de realización representados de modo esquemático en los dibujos.

15 Muestran:

La Fig. 1, un corte parcial de un elemento óptico con un revestimiento que presenta una capa de barniz duro y un revestimiento antirreflectante dispuesto sobre la misma;

la Fig. 2, un gráfico para explicar la difusividad del revestimiento;

20 la Fig. 3, una instalación para el tratamiento de la capa de barniz duro de un elemento óptico con una descarga corona;

la Fig. 4, una instalación de plasma a baja presión para generar un plasma para el tratamiento de la capa de barniz duro de un elemento óptico;

la Fig. 5, una instalación para generar un plasma para el tratamiento de la capa de barniz duro con una descarga luminiscente;

25 la Fig. 6, la dependencia de la difusividad del revestimiento de la porción polar de la energía interfacial de la superficie de la capa de barniz duro;

la Fig. 7, una instalación para la aplicación de estructuras extrañas sobre la capa de barniz duro de un elemento óptico;

30 la Fig. 8, un corte parcial de otro elemento óptico con una capa de barniz duro y capas parciales de un revestimiento antirreflectante dispuestas sobre la misma y atravesadas por agujeros;

la Fig. 9, una instalación para practicar los agujeros en las capas parciales de un revestimiento antirreflectante mediante bombardeo de partículas; y

la Fig. 10, una instalación para practicar los agujeros en las capas parciales de un revestimiento antirreflectante mediante luz láser.

35 El elemento óptico 10 mostrado en corte parcial no a escala en la Fig. 1 tiene un cuerpo de sustrato 12 a base de material sintético, p. ej., el material sintético CR39. Sobre el cuerpo de sustrato 12 se encuentra una capa de barniz duro 14 que limita en el cuerpo de sustrato 12. La capa de barniz duro 14 está aplicada con una composición de barniz duro sol-gel aplicada preferiblemente mediante revestimiento por centrifugación sobre el cuerpo de sustrato 12 o aplicada mediante revestimiento por inmersión.

40 Sobre la capa de barniz duro 14 hay un revestimiento 15 configurado como pila de capas con un revestimiento antirreflectante que comprende varias capas parciales y una capa de revestimiento (capa superior). Esta pila de capas comprende una capa 16 aplicada sobre la capa de barniz duro 14, a base de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), con un grosor de 57 nm. Sobre la capa 16 se encuentra una capa 18 de cuarzo ( $SiO_2$ ) de 25 nm de grosor. Por encima de la capa 18 se encuentra otra capa 20 de óxido de aluminio, cuyo grosor asciende a 44 nm. A la capa 20 le sigue otra capa 22 de cuarzo de 61 nm de grosor. Ésta está revestida con una capa 23 a base de óxido de aluminio de 60 nm de grosor. Sobre la capa 23 está aplicada una primera capa 24 que refleja con un elevado índice de refracción la

luz visible, que se compone de óxido de titanio y que es de 8,5 nm de grosor. Sobre la capa 24 está aplicada entonces una capa 26 a base de óxido de aluminio con un grosor de 45 nm, que está revestida por una segunda capa 28 a base de óxido de titanio de alto índice de refracción con un grosor de 22 nm. Sobre la capa 28 a base de óxido de titanio está aplicada finalmente una capa 30 a base de cuarzo con un grosor de 106 nm.

5 La pila de capas del revestimiento antirreflectante se fabrica en una instalación de vaporización por chorros de electrones. Una instalación de este tipo tiene una cámara de vacío en la que se dispone el cuerpo de sustrato 12 del elemento óptico con la capa de barniz duro 14 aplicada sobre el mismo. Mediante un chorro de electrones, el material de las distintas capas es vaporizado secuencialmente en la cámara de vacío, de modo que precipita  
10 preferiblemente una fuente de iones que posibilita compactar las capas aplicadas por vaporización sobre el cuerpo de sustrato 12 durante la deposición en fase de vapor.

Sobre la capa 30 del revestimiento 15 se encuentra, como un revestimiento superior, una capa 32. La capa 32 se compone de un material superhidrófobo, el cual garantiza que el elemento óptico 10 se pueda limpiar fácilmente.

15 El material de la capa 32 es preferiblemente un material de la clase de los alcanos perfluorados que están entonces acoplados químicamente a través de un grupo de silano funcional a los grupos OH de la capa 30 constituida a base de cuarzo. Estos grupos OH en la superficie se designan en el mundo científico también como los denominados grupos silanol.

20 Una capa basada en moléculas perfluoradas de este tipo es, en virtud del acoplamiento químico precedentemente descrito, resistente a la abrasión, es decir, la funcionalidad no se pierde tampoco en el caso de uso del cristal para gafas, es decir tampoco después de, p. ej., dos años de limpiar diariamente por parte del usuario de las gafas. En virtud de las propiedades químicas de un revestimiento superior de este tipo, las gotas de agua forman sobre el mismo un gran ángulo de contacto ( $> 90^\circ$ ) con la superficie. Las gotas de agua macroscópicas se separan entonces en forma de perlas de esta superficie.

25 El revestimiento 15 producido de la manera precedentemente descrita es resistente al rayado en un alto grado. A saber, tiene un índice Bayer  $Z_B$  determinado con el test de Bayer precedentemente explicado para el que se cumple:  $Z_B \geq 10$ .

30 El revestimiento 15 sobre el cuerpo de sustrato 12 tiene a pesar de todo una difusividad  $D_F$  que garantiza la absorción de moléculas de agua que penetran a través del revestimiento 15 en el cuerpo de sustrato 12 y la liberación de moléculas de agua a partir del cuerpo de sustrato 12 a través del revestimiento 15 desde una atmósfera de aire dispuesta sobre una cara del revestimiento 15 alejada del cuerpo de sustrato 12, con una densidad de flujo de humedad  $j_D$  que, partiendo del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato 12 en un atmósfera de aire a  $23^\circ\text{C}$  y 50% de humedad relativa del aire, determina el ajuste del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato 12 en una atmósfera de aire a  $40^\circ\text{C}$  y 95% de humedad relativa del aire dentro de un intervalo de tiempo que no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 5$  h que el intervalo de tiempo requerido para el ajuste de este estado de equilibrio bajo condiciones correspondientes en el caso de un cuerpo de sustrato no revestido idéntico al cuerpo de sustrato 12.

40 La Fig. 2 explica en el gráfico 33 la difusividad del revestimiento 15 sobre el cuerpo de sustrato 12 de un elemento óptico 10. La Fig. 2 muestra con la curva 34 el aumento de la densidad  $c_{FS}$  para las moléculas de agua incorporadas en el cuerpo de sustrato 12 como función del tiempo  $t$ , cuando el elemento óptico 10 es dispuesto desde un entorno seco, en el que la humedad del aire es baja, en un entorno con una elevada humedad del aire. Después de aproximadamente 24 h, la densidad  $c_{FS}$  para las moléculas de agua incorporadas en el cuerpo de sustrato 12 está saturada, es decir, esta densidad es entonces invariable frente al tiempo.

45 La curva 35 muestra con respecto al aumento de la densidad  $c_{FS}$  de las moléculas de agua incorporadas en un cuerpo de sustrato 12, no revestido, el cual, por lo demás, es idéntico al cuerpo de sustrato 12 en el que se fundamenta la curva 35. Como resulta de una comparación de las curvas 35 y 34, el ajuste del estado de equilibrio para la densidad  $c_{FS}$  se ralentiza ciertamente debido al revestimiento 15 en el caso del elemento óptico 10. La difusividad  $D_F$  del revestimiento es, sin embargo, tan grande que no prolonga en más de 5 veces la longitud del intervalo de tiempo del intervalo de tiempo requerido para el ajuste del estado de equilibrio correspondiente que es necesario para que se ajuste el correspondiente estado de equilibrio en un cuerpo de sustrato idéntico al cuerpo de sustrato 12, pero no revestido.

50 Esta difusividad  $D_F$  del revestimiento se garantiza en el caso del elemento óptico 10 debido a que la porción polar  $\sigma_S^{\text{polar}}$  a la energía interfacial  $\sigma_S = \sigma_S^{\text{dispersivo}} + \sigma_S^{\text{polar}}$  de la capa de barniz duro 14, se aumenta mediante el



tratamiento de esta capa de barniz duro con una descarga corona en una instalación para la generación de una descarga corona de este tipo.

5 La Fig. 3 muestra una instalación 40 de este tipo. Una instalación 40 tiene un primer electrodo 42 a tierra, plano, y otro electrodo 44 plano al que se puede aplicar una tensión elevada  $U \geq 1$  kV. Entre los dos electrodos 42, 44, la instalación 40 tiene una zona de alojamiento para la disposición de un cuerpo de sustrato 12 sobre el que está aplicada una capa de barniz duro 14 correspondiente. La aplicación de la tensión elevada al electrodo 44 genera una lluvia de rayos 46 que solicita a la capa de barniz duro 14 y que, junto con el ozono generado mediante la lluvia de rayos 46, conduce a que aumente la porción polar de la energía interfacial  $\sigma_s$  de la superficie 48 de la capa de barniz duro 14 alejada del cuerpo de sustrato 12.

10 Con el fin de garantizar la difusividad  $D_F$  deseada del revestimiento 14 en el elemento óptico 10 mostrado en la Fig. 1, es también posible, de forma alternativa o adicional, tratar la capa de barniz duro 14 mediante un plasma generado en una instalación de plasma a baja presión.

15 La Fig. 4 muestra una instalación de plasma a baja presión 50 adecuado para ello. La instalación de plasma a baja presión 50 tiene una cámara de vacío 52 con una zona de alojamiento para la disposición de un cuerpo de sustrato 12 para un elemento óptico 10 con una capa de barniz duro 14 aplicada sobre el mismo. La cámara de vacío 52 tiene una conexión 54 para una bomba de vacío. La cámara de vacío 52 tiene una entrada de gas 56, a través de la cual se puede introducir en la cámara de vacío 52 en particular oxígeno, argón, una mezcla a base de oxígeno y nitrógeno o a base de oxígeno y argón. La instalación de plasma a baja presión 50 contiene un generador de microondas 58, mediante el cual la cámara de vacío 52 puede ser solicitada con microondas con el fin de encender un plasma a una presión  $P$  en la cámara de vacío 52 de  $P \approx 10$  Pa, con el que la capa de barniz duro 14 es tratada sobre el cuerpo de sustrato 12.

Alternativa o adicionalmente, es también posible tratar la capa de barniz duro 14 sobre un cuerpo de sustrato 12 mediante un plasma que es generado con una descarga luminiscente en una cámara de vacío, con el fin de garantizar la difusividad  $D_F$  del revestimiento 14 en el elemento óptico 10 mostrado en la Fig. 1.

25 La Fig. 5 muestra una instalación 60 de este tipo. En la instalación 60 existe una cámara de vacío 62 con paredes eléctricamente conductoras y una zona de alojamiento para la disposición de un cuerpo de sustrato 12 con una capa de barniz duro 14. La cámara de vacío 62 tiene una conexión 64 para una bomba de vacío y presenta una entrada de gas 66. En la instalación 60 existe un electrodo luminiscente 68 al que se puede aplicar una tensión elevada  $U \geq 1$  kV, con el fin de encender un plasma para el tratamiento de la superficie 48 de la capa de barniz duro 14 en una atmósfera gaseosa consistente en oxígeno, argón, aire o mezclas correspondientes, cuya presión se encuentra en un intervalo de presiones entre 0,1 Pa y 1 Pa.

Con el fin de garantizar la difusividad  $D_F$  deseada del revestimiento 15 en el elemento óptico 10 mostrado en la Fig. 1, es también posible, no obstante, producir la capa de barniz duro 14 a base de una composición de barniz duro sol-gel que contiene un tensioactivo fluorado como aditivo de igualación.

35 En la siguiente Tabla se confrontan entre sí en conjunto la porción dispersiva y la porción polar de la energía interfacial de una composición de barniz duro sol-gel líquida aplicada sobre un cuerpo de sustrato a base del material MR-8<sup>®</sup> con el aditivo de igualación basado en silicio SF1188A de la razón social Momentive, un aditivo de igualación sobre la base de un copolímero a base de un polidimetilsiloxano y un polioxialquileo y una correspondiente composición de barniz duro sol-gel con el aditivo de igualación FC-4430 de la razón social 3M que está constituido a base de un éster polimérico fluorado, es decir, que contiene tensioactivo fluorado:

Muestra N°	Aditivo de igualación	$\sigma_s$ [mJ/Nm]	$\sigma_s^{\text{dispersiva}}$ [mJ/Nm]	$\sigma_s^{\text{polar}}$ [mJ/Nm]
1	FC4430	23,89	21,93	1,96
2	FC4430	23,13	21,10	2,03
3	SF1188	24,42	23,43	0,99
4	SF1188	24,68	23,49	1,19

Las porciones dispersivas y polares se miden aquí con el denominado método OWRK utilizando los líquidos de ensayo diyodometano y etilenglicol, el cual se describe, p. ej., en la disertación de Carsten Weiß, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (2002), publicada el 08.07.2004 en la pág. 54 y la pág. 55.

La Tabla demuestra que el uso de un aditivo de igualación que contiene tensioactivo fluorado determina que la porción polar de la energía interfacial de la capa de barniz duro aplicada sobre un cuerpo de sustrato sea menor que en el caso de un aditivo de igualación que se basa en silicona.

5 En la Fig. 6 se explica con el gráfico 70 la difusividad  $D_F$  del revestimiento 15 sobre el cuerpo del sustrato 12 de un elemento óptico 10. La capa de barniz duro 14 del cuerpo de sustrato 12 está hecha aquí de una composición de barniz duro sol-gel que como aditivo de igualación contiene un tensioactivo fluorado. La Fig. 6 muestra con la curva 72 el aumento de la densidad  $c_{FS}$  para las moléculas de agua incorporadas en el cuerpo de sustrato 12 como función del tiempo  $t$ , cuando el elemento óptico 10 es dispuesto desde un entorno seco, en el que la humedad del aire es baja, en un entorno con una elevada humedad del aire. Después de aproximadamente 150 h, aquí está saturada la  
10 densidad  $c_{FS}$  para las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato 12, es decir, la cantidad de las moléculas de agua incorporadas en el cuerpo de sustrato es entonces aproximadamente invariable con respecto al tiempo.

15 La curva 74 representa frente a ello el aumento de la densidad  $c_{FS}$  de las moléculas de agua incorporadas en el cuerpo de sustrato de un elemento óptico correspondiente al elemento óptico 10 mostrado en la Fig. 1, el cual tiene, sin embargo, una capa de barniz duro correspondiente a la capa de barniz duro 14, cuya estructura y grosor corresponden a la capa de barniz duro 14 en el caso del elemento óptico 10, pero que está hecho de una composición de barniz duro de sol-gel con un aditivo de igualación basado en silicona. Tal como se desprende de la curva 64, el cuerpo de sustrato no está tampoco solo saturado por tandas en el caso de este elemento óptico tampoco después de más de 200 h.

20 Con el fin de obtener una difusividad  $D_F$  para el revestimiento 15 en el caso del elemento óptico 10 mostrado en la Fig. 1, es además posible incorporar sobre la capa de barniz duro 14 o también otras capas situadas en el interior del revestimiento antirreflectante sustancias extrañas, en particular, moléculas extrañas y/o estructuras extrañas, p. ej., nanopartículas, por ejemplo nanopartículas a base de  $\text{SiO}_2$  o también nanopartículas que se componen de polímeros.

25 La Fig. 7 muestra una instalación 80 para la aplicación correspondiente de estructuras extrañas sobre una capa de barniz duro de este tipo o sobre varias capas de un elemento óptico.

30 La instalación 80 presenta un cámara de vacío 82 con paredes eléctricamente conductoras, en la que se puede disponer un cuerpo de sustrato 12 revestido con una capa de barniz duro 14, p. ej., una pieza en bruto para cristales para gafas. La cámara de vacío 82 tiene un orificio 84 para la unión con una disposición de válvula y una bomba de vacío que posibilitan generar en la cámara de vacío 82 una composición exactamente definida para una atmósfera gaseosa que tiene una presión predeterminable. En la cámara de vacío 82 existen electrodos luminiscentes 86, 88 en forma de anillo. Los electrodos luminiscentes 86, 88 están hechos de un material de nanopartículas. Los electrodos luminiscentes 86, 88 están unidos a través de pasajes 90, 92 en la pared de la cámara de vacío 82 con un dispositivo para la provisión de una alta tensión. Mediante la aplicación de una alta tensión en los electrodos  
35 luminiscentes 86, 88 se puede encender una descarga luminiscente en la cámara de vacío 82 a la que se pulveriza de forma catódica el material de nanopartículas de los electrodos luminiscentes sobre la capa de barniz duro 14 a una presión de, p. ej.,  $10^{-4}$  mbar, de modo que estos no se acumulan allí.

40 Debe señalarse que la instalación 80 es básicamente también adecuada para la aplicación de capas parciales para un revestimiento antirreflectante sobre la capa de barniz duro 14 con nanopartículas incorporadas sobre el mismo. Para ello, en la instalación 80 se dispone un vaporizador de chorro de electrones 93, con el que entonces se pueden aplicar por vaporización diferentes materiales para capas en un revestimiento antirreflectante sobre el cuerpo de sustrato 12. Con el fin de compactar las capas depositadas en fase de vapor sobre el cuerpo de sustrato 12, en la instalación 80 se integra preferiblemente también una fuente de iones 94. Esta fuente de iones está diseñada de modo que posibilita un bombardeo de iones del cuerpo de sustrato 12 durante la deposición en fase de vapor de  
45 revestimientos con una energía iónica  $E_i$  que se puede ajustar de manera más favorable y que se encuentra preferiblemente en un intervalo  $1 \text{ eV} \leq E_i \leq 100 \text{ eV}$ .

50 Se ha de tener en cuenta que los electrodos luminiscentes 86, 88 en la cámara de vacío 82 deben estar dispuestos lo suficientemente juntos en el caso del cuerpo de sustrato 12 con el fin de que las correspondientes nanopartículas puedan depositarse sobre éste de forma uniforme y que, a pesar de todo, se encuentran dispersas individualmente sobre el mismo, de modo que no sean visibles.

Revestimientos de nanopartículas correspondientes se conocen, p. ej., como efectos perturbadores de lámparas luminiscentes utilizadas durante mucho tiempo en capas depositadas en fase de vapor. En este caso, sin embargo, se desea generarlas de un modo menos junto que en el caso de una lámpara luminiscente utilizada durante mucho

tiempo. Además de ello, naturalmente se pretende que estos revestimientos de nanopartículas se puedan generar de manera correspondientemente rápida.

5 A diferencia de una lámpara luminiscente se elige por lo tanto en este caso un material de electrodos que pulverice relativamente bien en el caso de una presión de gas residual a ajustar y de la tensión de descarga luminiscente. Además de ello, el material del electrodo se elige aquí de modo que influya localmente de manera particularmente efectiva con puntos perturbadores a las capas depositadas por encima del elemento óptico 10 correspondiente. La elección de materiales adecuados para las nanopartículas, el tipo de gas para el gas residual a ionizar, la presión a ajustar y la tensión para la descarga luminiscente dependen en este caso de la estructura deseada de las capas, en particular de la estructura deseada de la capa que es depositada en fase de vapor directamente sobre las nanopartículas.

10 Alternativamente a una aplicación de partículas perturbadoras sobre una capa de barniz duro 14 es también posible antes de la vaporización de una capa depositar en una instalación de vacío correspondiente sustancias extrañas o estructuras extrañas (p. ej., moléculas o nanopartículas) como puntos perturbadores o gérmenes para puntos perturbadores sobre la superficie y luego posteriormente recubrirlas por vaporización. Esto puede tener lugar también, p. ej., debido a que previamente en el material, p. ej., el material base del cuerpo de sustrato 12, por ejemplo en un cristal para gafas, o también en la capa de barniz duro, cuando se pretende modificar las propiedades de la capa, se incorporan sustancias finamente distribuidas que, en la medida en que se encuentren en la superficie, influyen localmente sobre la fuerza de unión química de la capa a aplicar, de modo que en los puntos en los que las partículas a base del material base se encuentran en la superficie, se producen puntos perturbadores en la capa depositada en fase de vapor.

20 Además de ello es posible desencadenar, para sustancias que ya están finamente distribuidas en una capa de barniz duro o en un material base, en una etapa de proceso definida, una reacción química que procure que resulten puntos aislados finamente distribuidos por la superficie en los que una capa depositada en fase de vapor en un punto de este tipo tenga un hueco.

25 Mediante partículas perturbadoras aplicadas desde el exterior de este modo o mediante una reacción química inducida desde el exterior pueden generarse de esta forma puntos perturbadores, en particular en un revestimiento antirreflectante depositado en fase de vapor, que pueden aumentar claramente la difusividad  $D_F$  de un revestimiento 15 de un elemento óptico 10.

30 Se ha de tener también en cuenta que la difusividad  $D_F$  de un revestimiento 15 de un elemento óptico 10 puede alcanzarse también mediante una modificación preestablecida de la química y energía de la superficie. Una modificación de este tipo de una superficie límite en el caso de un elemento óptico 10 puede generarse, además de ello, también, p. ej., con revestimientos que se producen en procedimientos químicos en húmedo o físicos. Además de ello, superficies límite de este tipo pueden modificarse también mediante impresión, por ejemplo mediante nanoimpresiones o también mediante bombardeo con partículas altamente energéticas.

35 A este respecto se puede comprobar que nanopartículas en una capa aplicada sobre un cuerpo de sustrato 12 pueden ser depositadas básicamente también con el vaporizador de chorro de electrones 93 en la instalación 80.

Además, se ha de tener en cuenta que básicamente es también posible incorporar de manera preestablecida en un revestimiento puntos perturbadores en forma de sustancias extrañas que aumentan la difusividad  $D_F$  del revestimiento.

40 La Fig. 8 muestra otro elemento óptico 10' en corte parcial, que presenta un cuerpo de sustrato 12 a base de material sintético, p. ej., del material sintético CR39. En la medida en que la estructura del elemento óptico 10' corresponda a la estructura del elemento óptico 10 de la Fig. 1, éste se designa en la Fig. 8 por los números como símbolos de referencia utilizados en la Fig. 1.

45 A diferencia del elemento óptico 10 de la Fig. 1, el elemento óptico 10' contiene una pluralidad de agujeros 100. Los agujeros 100 se extienden desde la superficie 48 del revestimiento 15 hacia la capa de barniz duro 14. Sin embargo, la capa de barniz duro 14 no es atravesada por los agujeros 100. Los agujeros 100 actúan como poros microscópicos y/o mesoscópicos en el revestimiento 15 que aumentan su difusividad  $D_F$ . El diámetro  $D_L$  de los agujeros satisface en este caso la siguiente relación:  $D_L \leq 5 \mu\text{m}$ .

50 Los agujeros 100 en el revestimiento 15 del elemento óptico 10' se generan, p. ej., mediante un chorro de electrones o iones enfocado en una cámara de vacío.

5 La Fig. 9 muestra una instalación 110 para la creación de los poros microscópicos o bien mesoscópicos precedentemente explicados en el revestimiento 15. La instalación 110 tiene una cámara de vacío 112 en la que está dispuesta una fuente de electrones y/o iones 114. A la fuente de electrones y/o iones 114 está asociada una unidad de aceleración 116 y una unidad de desviación 118. La fuente de electrones y/o iones 114 sirve para la sollicitación del revestimiento 15 de un elemento óptico 10' dispuesto en la cámara de vacío 112 con un chorro de partículas a base de electrones y/o iones.

Con el chorro de partículas, los electrones o iones son bombardeados, distribuidos de forma estadística sobre la superficie del elemento óptico 10' a tratar, de modo que toda la superficie 48 es esparcida con agujeros de difusión.

10 Esto no tiene que pasar con una única partícula, más bien puede suceder también secuencialmente dejar sin modificar los puntos de desviación en cada caso durante un tiempo suficiente. Con el fin de generar al mismo tiempo varios agujeros, delante de la unidad de desviación puede estar dispuesta, p. ej., además una estructura de difracción óptica de electrones o iones.

15 La unidad de aceleración 116 garantiza que los electrones o iones posean una energía lo suficientemente grande como para perforar un revestimiento 15 a modificar en relación con sus propiedades de difusión, de modo que en ella se vuelven permeables las capas que actúan en caso contrario como barrera de difusión.

Básicamente, en una instalación 110 puede combinarse también la perforación de capas en el revestimiento 15 y la aplicación de diferentes capas. Esta medida ofrece la ventaja de que se pueden generar correspondientes agujeros con una energía de los electrones y/o iones menor.

20 La unidad de desviación 118 controla el chorro de partículas proporcionado por la fuente de electrones y/o iones 114, en este caso preferiblemente a través de un generador de números aleatorios. Con ello, se puede conseguir que los agujeros 100 generados en la instalación 110 en el revestimiento 15 de un elemento óptico 10' estén distribuidos casi estadísticamente por la superficie, de modo que las estructuras microscópicas o bien mesoscópicas de los agujeros no generen bajo la luz visible fenómenos de difracción reconocibles.

25 Otra vía para la generación simultánea de una pluralidad de agujeros mediante bombardeo de iones consiste en prever delante de la fuente de iones propiamente dicha una placa con una pluralidad de agujeros estadísticamente distribuidos que actúa como pantalla de tamizado. Esta pantalla de tamizado se configura entonces de forma óptica para los iones sobre la superficie del elemento óptico correspondiente. El elemento óptico se expone en este caso al chorro de partículas correspondiente durante todo el tiempo hasta que los agujeros generados en el revestimiento o una capa del revestimiento sean lo suficientemente profundos como para alcanzar el efecto influyente en la difusión deseado. Mediante el movimiento de la placa o del elemento óptico es posible trasladar los puntos en los que el elemento óptico es sollicitado con un chorro de partículas.

30

Se ha de señalar que los electrones o iones deben tener una energía cinética lo suficientemente grande por encima del umbral de destrucción de la superficie a mecanizar. En el caso del bombardeo con iones, también la elección del tipo de iones puede tener una influencia sobre el efecto.

35 Se ha de señalar que también en un revestimiento 15 de un elemento óptico 10 con un chorro de electrones o iones enfocado se puede generar básicamente también un dibujo regular de "agujeros o perturbaciones". Dibujos de este tipo pueden producirse, p. ej., debido a que el chorro de electrones o iones enfocado es por sí mismo una figura de interferencia y, por lo tanto, contiene una regularidad: esto tiene la ventaja, con respecto a lo expuesto anteriormente, de que con un "proceso de combustión" se pueda generar de una vez una pluralidad de agujeros, colocando las figuras de interferencia individuales correspondientes escalonadamente una junto a otra con el fin de cubrir de esta forma a todo el elemento óptico, es decir, p. ej., al cristal para gafas. Para el caso de que la extensión de las figuras de interferencia reproducidas o las condiciones de enfoque no permitan cubrir de una vez todo el elemento óptico, se ha de procurar que la figura de interferencia proyectada sobre el elemento óptico tenga una longitud del período tan pequeña o tan grande que ya no se manifieste difracción reconocible alguna: se han de evitar longitudes de período en el orden de magnitud de la longitud de onda de la luz en el caso de los dibujos proyectados.

40

45

La Fig. 10 muestra otra instalación 120 para la generación de los poros microscópicos o bien mesoscópicos precedentemente explicados en el revestimiento 15 de un elemento óptico 10'.

50 La instalación 120 contiene un láser 122 para la creación de luz láser pulsada, para cuyo tiempo de pulsación  $t_p$  se cumple preferiblemente:  $t_p \leq 15$  ns. El rayo láser es dirigido a través de una óptica 124 a un objetivo 126 altamente reflectante, que actúa como objeto de amplitudes o, preferiblemente como un objeto de fases puro y genera sobre el elemento óptico 10' un patrón de moteado.

La instalación 120 comprende una cámara de vacío 127 con una ventana óptica 128 que actúa como lente. A través de la ventana 128, la luz láser del láser 122 es dirigida al elemento óptico 10' dispuesto en la cámara de vacío 126. La longitud de onda de la luz láser se elige en este caso de modo que ésta sea absorbida en el revestimiento 15 del elemento óptico 10' y, en este caso, genera en el revestimiento 15 agujeros 100 correspondientes.

- 5 Otras variaciones y perfeccionamientos de la invención resultan mediante la combinación de diferentes características en los ejemplos de realización precedentemente descritos. Se ha de señalar también que un elemento óptico de acuerdo con la invención puede estar configurado particularmente en forma de una lente, en forma de un cristal para gafas o también en forma de una pieza en bruto de un cristal para gafas o de un producto semiacabado de un cristal para gafas.
- 10 En resumen, se han de retener, en particular, las siguientes características preferidas de la invención. Un elemento óptico 10, 10', p. ej., un cristal para gafas o una pieza en bruto de un cristal para gafas tiene un cuerpo de sustrato 12 producido a partir de un material sintético transparente, preferiblemente en el intervalo espectral visible y un revestimiento 15 que presenta varias capas 14, 16, 18 que comprende una capa de barniz duro 14 que limita en el
- 15 cuerpo de sustrato 12. El revestimiento 15 tiene una difusividad  $D_F$  que garantiza la absorción de moléculas de agua que penetran a través del revestimiento 15 en el cuerpo de sustrato 12 y la liberación de moléculas de agua a partir del cuerpo de sustrato 12 a través del revestimiento 15 desde una atmósfera de aire dispuesta sobre una cara del revestimiento 15 alejada del cuerpo de sustrato 12, con una densidad de flujo de humedad  $j_D$  que, partiendo del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato 12 en un atmósfera de aire a 23°C y 50% de humedad relativa del aire, determina el ajuste del estado de equilibrio de la
- 20 cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato 12 en una atmósfera de aire a 40°C y 95% de humedad relativa del aire dentro de un intervalo de tiempo que no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 10$  h, preferiblemente no mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 9$  h o  $\Delta t = 8$  h o  $\Delta t = 7$  h o  $\Delta t = 6$  h o  $\Delta t = 5$  h o  $\Delta t = 4$  h o  $\Delta t = 3$  h o  $\Delta t = 2$  h, de manera particularmente preferida no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 1$  h que el intervalo de tiempo requerido para el ajuste de este estado de equilibrio bajo
- 25 condiciones correspondientes en el caso de un cuerpo de sustrato no revestido idéntico al cuerpo de sustrato 12.

Lista de símbolos de referencia

10, 10'	elemento óptico
12	cuerpo de sustrato
14	capa de barniz duro
30 15	revestimiento
16, 18, 20, 22,23, 24, 26, 28, 30, 32	capas
34, 35, 72	curvas
40, 60, 80, 110, 120	instalación
42, 44	electrodos
35 46	lluvia de rayos
48	superficie
50	instalación de plasma a baja presión
52, 62, 82, 112	cámara de vacío
54, 64	conexión
40 56	entrada de gas
58	generador de microondas
66	entrada de gas
68, 86, 88	electrodo luminiscente
70	gráfica
45 84	orificio
90, 92	pasajes
93	vaporizador del chorro de electrones
100	agujeros
114	fuelle de electrones y/o iones
50 115	revestimiento
116	unidad de aceleración
118	unidad de desviación
122	láser
124	óptica
55 126	objetivo
128	ventana

## REIVINDICACIONES

1. Elemento óptico (10, 10'), en particular cristal para gafas o pieza en bruto de un cristal para gafas con un cuerpo de sustrato (12) producido a partir de un material sintético transparente y con un revestimiento (15) que presenta varias capas (14, 16, 18), que comprende una capa de barniz duro (14) que limita en el cuerpo de sustrato (12) y un revestimiento antirreflectante dispuesto sobre la capa de barniz duro (14) con una estructura monocapa o multicapa, caracterizado por que el revestimiento (15) tiene una difusividad  $D_F$  que garantiza la absorción de moléculas de agua que penetran a través del revestimiento (15) en el cuerpo de sustrato (12) y la liberación de moléculas de agua a partir del cuerpo de sustrato (12) a través del revestimiento (15) desde una atmósfera de aire dispuesta sobre una cara del revestimiento (15) alejada del cuerpo de sustrato (12), con una densidad de flujo de humedad  $j_D$  que, partiendo del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato (12) en un atmósfera de aire a 23°C y 50% de humedad relativa del aire, que está definido debido a que el número de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato en el espacio de 24 h no se modifica en más de 1%, determina el ajuste del estado de equilibrio de la cantidad de las moléculas de agua almacenadas en el cuerpo de sustrato (12) en una atmósfera de aire a 40°C y 95% de humedad relativa del aire dentro de un intervalo de tiempo que no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 10$  h, preferiblemente no mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 9$  h o  $\Delta t = 8$  h o  $\Delta t = 7$  h o  $\Delta t = 6$  h o  $\Delta t = 5$  h o  $\Delta t = 4$  h o  $\Delta t = 3$  h o  $\Delta t = 2$  h, de manera particularmente preferida no es mayor que un intervalo de tiempo de longitud  $\Delta t = 1$  h que el intervalo de tiempo requerido para el ajuste de este estado de equilibrio bajo condiciones correspondientes en el caso de un cuerpo de sustrato no revestido idéntico al cuerpo de sustrato (12), en donde en el revestimiento (15) está configurada una pluralidad de poros, preferiblemente microscópicos y/o mesoscópicos, en particular en forma de agujeros (100) que, partiendo de la superficie (48) del revestimiento (15), se extienden sobre la cara alejada del cuerpo de sustrato (12) al menos hasta la capa de barniz duro (14).
2. Elemento óptico según la reivindicación 1, caracterizado por que el revestimiento (15) tiene una resistencia al rayado que corresponde a un índice Bayer  $Z_B$ , determinado en un ensayo de Bayer ampliado, que caracteriza la resistencia al rayado del revestimiento (15), con  $Z_B \geq 8$ , preferiblemente  $Z_B \geq 10$ , en particular  $Z_B \geq 14$ .
3. Elemento óptico según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el revestimiento (15) contiene al menos un revestimiento antirreflectante con al menos una capa parcial, depositada en fase de vapor en una cámara de vacío, que está compactada mediante bombardeo con iones, preferiblemente mediante bombardeo con iones a una densidad de corriente iónica  $I \geq 30 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  en el lugar de la capa parcial durante el tiempo de un proceso de deposición en fase de vapor para la creación de la capa parcial.
4. Elemento óptico según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el revestimiento (15) presenta al menos una capa de cuarzo (30) que consiste esencialmente en  $\text{SiO}_2$  o en una capa consistente en una mezcla a base de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con un grosor de capa  $d \geq 100$  nm.
5. Elemento óptico según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el diámetro  $D_L$  de los agujeros (100) satisface la siguiente relación:  $D_L \leq 5 \mu\text{m}$ , preferiblemente  $D_L \leq 1 \mu\text{m}$ , de manera particularmente preferida  $D_L \leq 0,2 \mu\text{m}$ .
6. Elemento óptico según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que los poros microscópicos y/o mesoscópicos están distribuidos de manera irregular en el revestimiento (15).
7. Elemento óptico según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que los poros microscópicos y/o mesoscópicos están dispuestos en al menos un tramo del revestimiento (15) de forma simétrica de translación, en donde para la frecuencia en el espacio  $k$  de la disposición de los poros microscópicos y/o mesoscópicos se cumple:  $k \gg 1 / 400$  nm o  $k \ll 1 / 800$  nm.
8. Elemento óptico según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que los poros mesoscópicos se preparan mediante solitación del revestimiento (15) o de capas (30) en el revestimiento con un chorro de partículas preferiblemente de alta energía, en particular mediante solitación con un chorro de partículas que contienen átomos de gases nobles y/o átomos de carbono y/o átomos de oro, y/o por que los poros mesoscópicos se preparan mediante solitación del revestimiento (15) o de capas (30) en el revestimiento (15) con luz láser pulsada.
9. Elemento óptico según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que sobre al menos una capa interna del revestimiento (15), en particular sobre la capa de barniz duro (14) y/o sobre y/o en el cuerpo de sustrato (12) están añadidas sustancias extrañas en forma de moléculas extrañas o nanopartículas, y/o por que sobre al menos una capa interna del revestimiento (15), en particular sobre la capa de barniz duro (14) están aplicadas estructuras extrañas.

10. Procedimiento para la fabricación de un elemento óptico (10, 10') según la reivindicación 1, que comprende las etapas

- 5 - proporcionar un cuerpo de sustrato (12) que está hecho de un material sintético transparente,
- aplicar un revestimiento (15) que presenta varias capas sobre el cuerpo de sustrato (12), en donde
- el revestimiento (15) tiene una capa de barniz duro (14) contigua al cuerpo de sustrato (12), que se genera mediante la aplicación de una composición de barniz duro sol-gel sobre el cuerpo de sustrato (12), y en donde
- 10 - el revestimiento (15) presenta al menos un revestimiento antirreflectante dispuesto sobre la capa de barniz duro (14) con una estructura monocapa o multicapa, caracterizado por que
- la capa de barniz duro (14) se trata, antes de la aplicación del revestimiento antirreflectante con una descarga corona y/o con un plasma de aire a baja presión y/o con una descarga luminiscente, y
- 15 - en el revestimiento (15) se configura una pluralidad de poros microscópicos y/o mesoscópicos, en particular en forma de agujeros (100) que, partiendo de la superficie (48) del revestimiento (15), se extienden sobre la cara alejada del cuerpo de sustrato (12) al menos hasta la capa de barniz duro (14).

11. Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado por que

- 20 - sobre la capa de barniz duro (14), antes de la aplicación de la al menos una capa óptica adicional (16, 18, 20), se añaden sustancias extrañas, en particular, moléculas extrañas y/o estructuras extrañas, en particular nanopartículas,
- y/o
- por que sobre al menos una capa (16, 18, 20) interna del revestimiento (15), en particular sobre la
- 25 capa de barniz duro (14) se aplican estructuras extrañas mediante luz láser y/o mediante bombardeo de partículas y/o mediante impresión, en particular mediante nano-impresiones,.

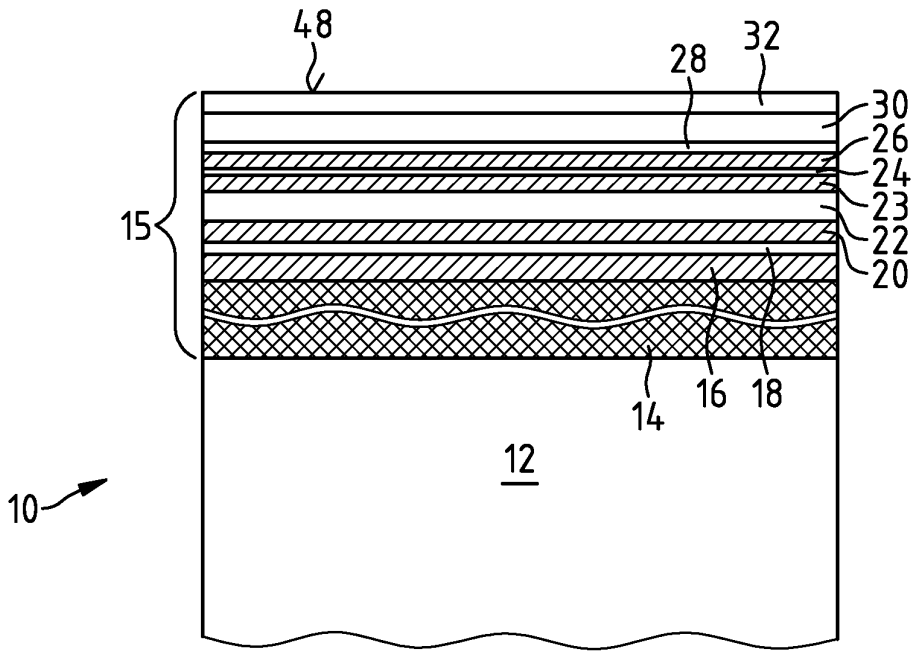


Fig.1

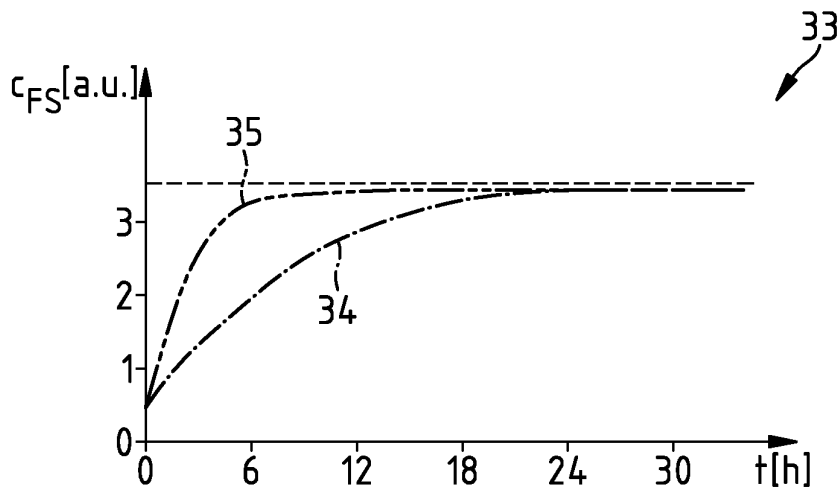


Fig.2



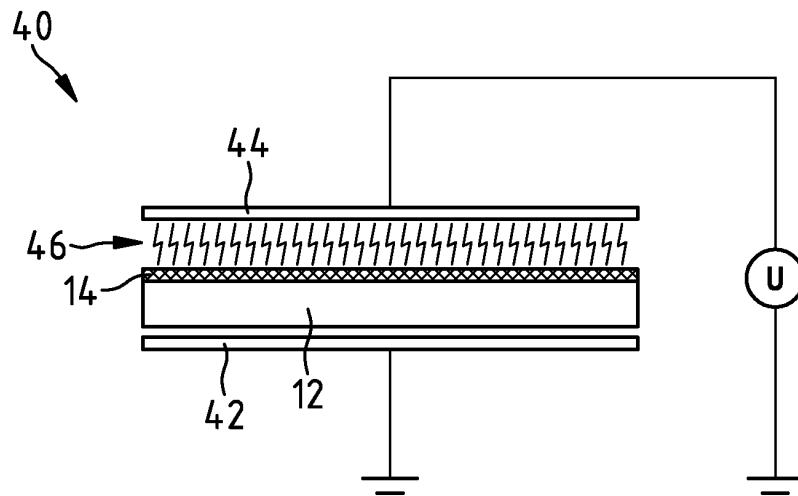


Fig.3

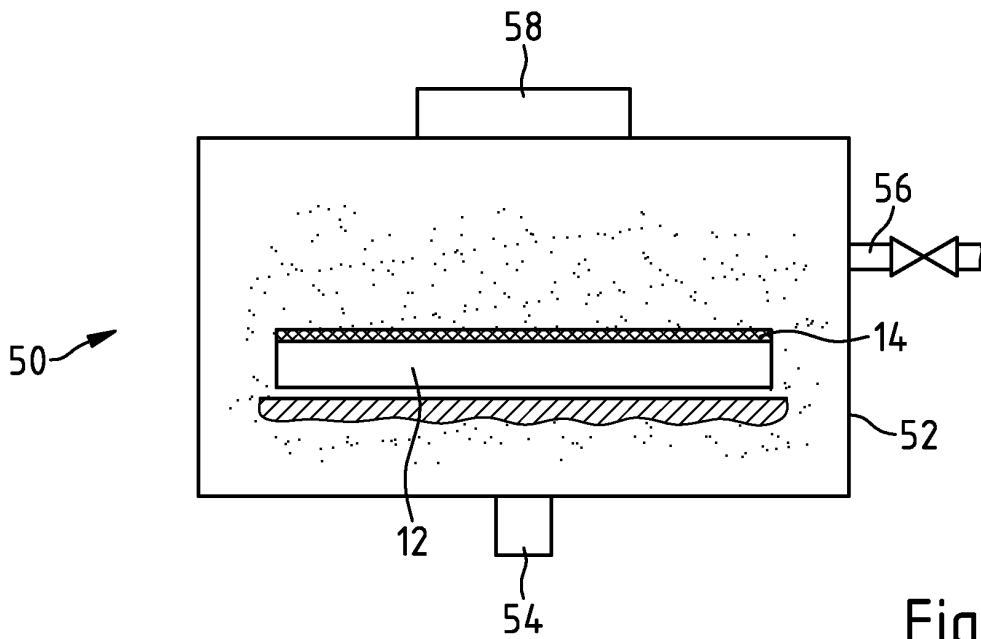


Fig.4

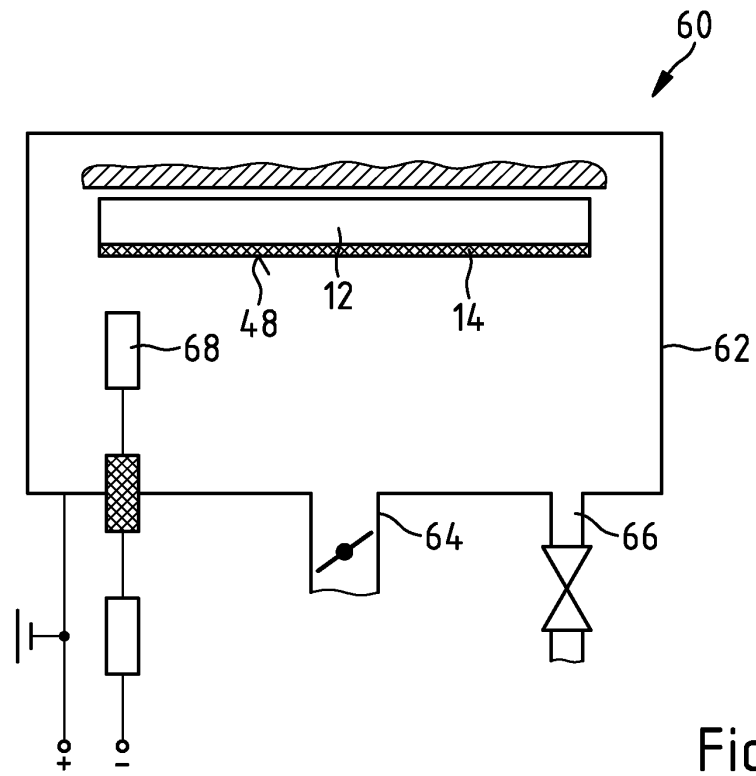


Fig.5

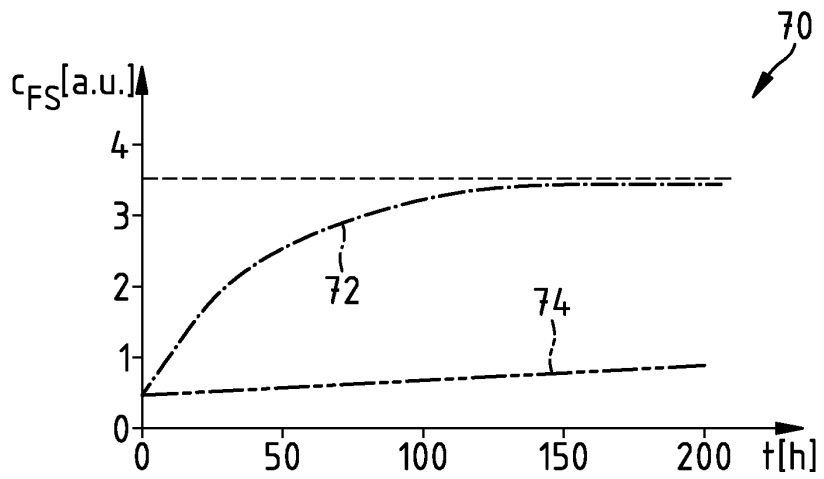


Fig.6

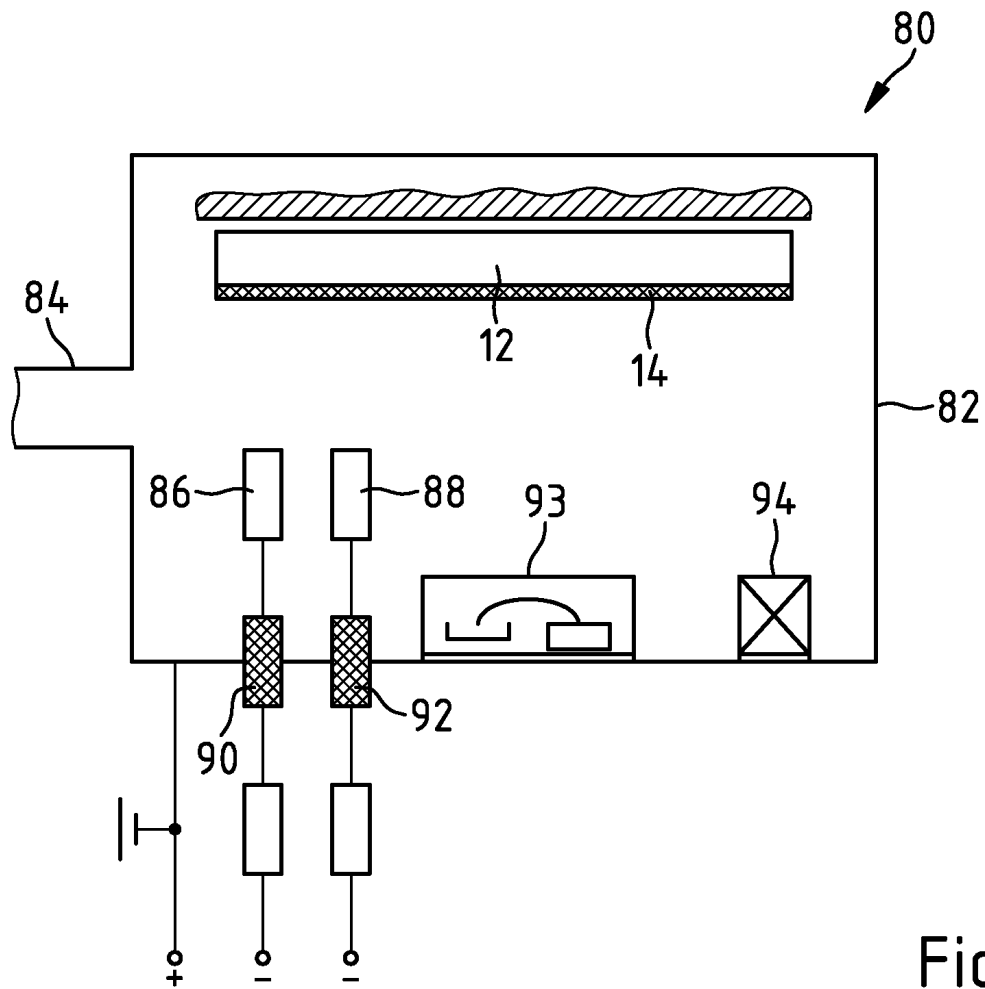


Fig.7

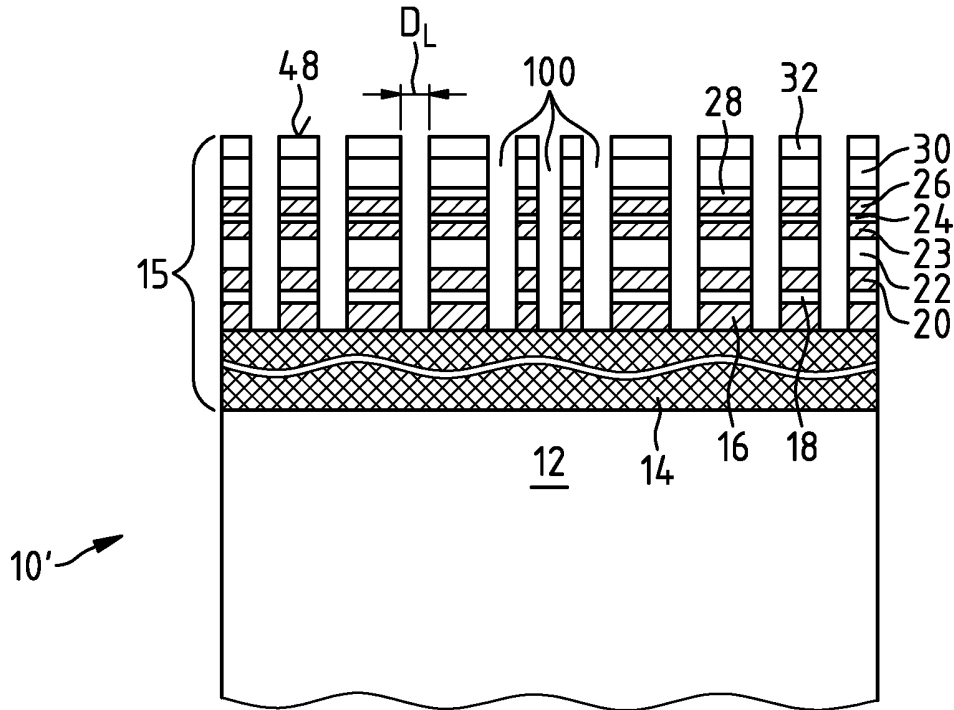


Fig.8

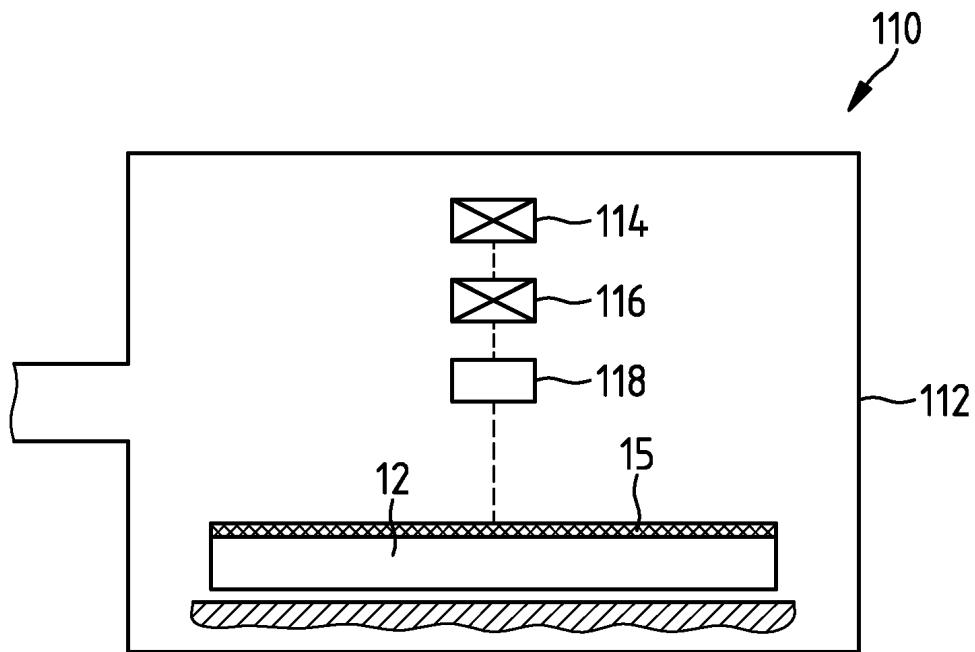


Fig.9

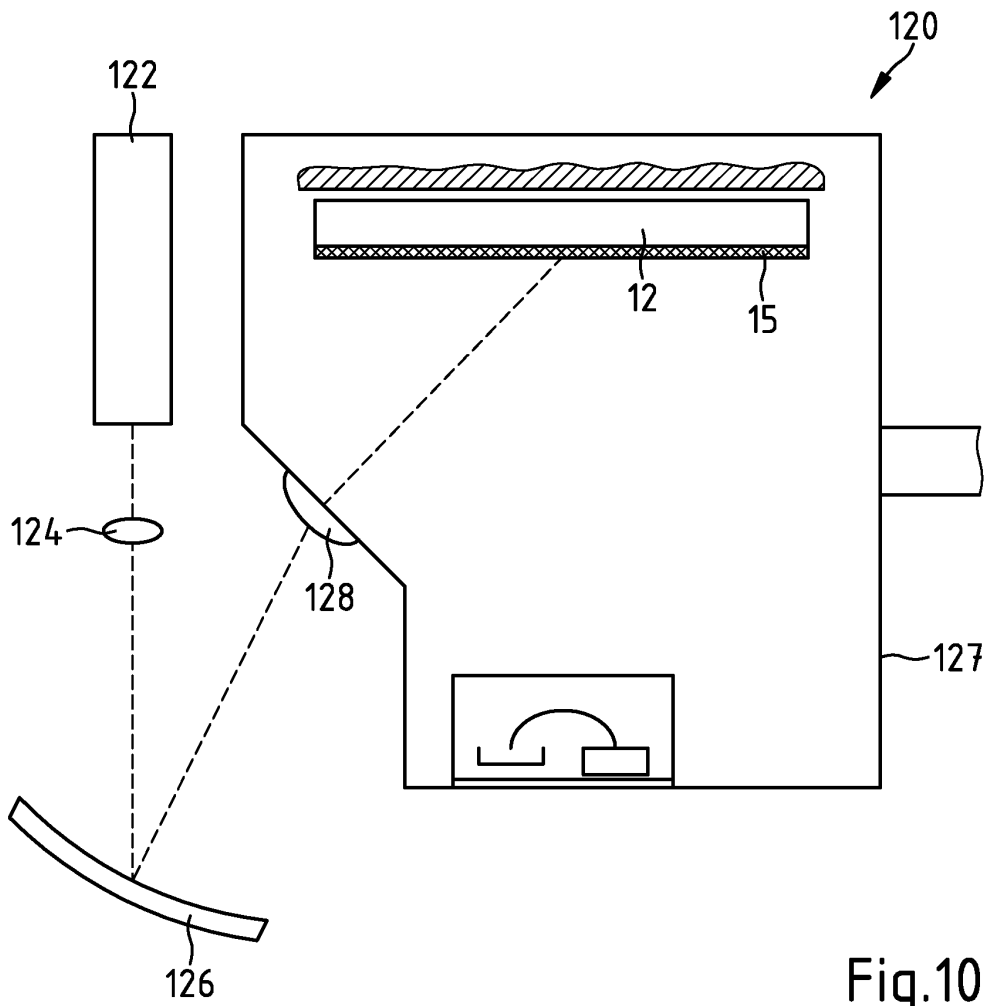


Fig.10