

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 976 069**

51 Int. Cl.:

**C03B 33/02** (2006.01)

**B23K 26/0622** (2014.01)

**B23K 26/53** (2014.01)

**B23K 26/00** (2014.01)

**B23K 26/06** (2014.01)

**B23K 26/064** (2014.01)

**B23K 26/146** (2014.01)

**B23K 103/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2021** E 21159711 (7)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2024** EP 3875436

54 Título: **Procedimiento para la preparación y/o realización de la separación de un elemento de sustrato y un elemento parcial de sustrato**

30 Prioridad:

**06.03.2020 DE 102020106158**

**04.09.2020 DE 102020123186**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.07.2024**

73 Titular/es:

**SCHOTT AG (100.0%)**

**Hattenbergstraße 10**

**55122 Mainz, DE**

72 Inventor/es:

**SOHR, DAVID;**

**WAGNER, FABIAN y**

**ORTNER, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 976 069 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

Procedimiento para la preparación y/o realización de la separación de un elemento de sustrato y un elemento parcial de sustrato

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la preparación y/o la realización de la separación de un elemento de sustrato en al menos dos elementos parciales de sustrato a lo largo de un área de separación y un elemento parcial de sustrato que se produce y/o es producible con el procedimiento según la invención.

10 **Estado de la técnica**

En la producción y el procesamiento de vidrio, así como en áreas relacionadas, regularmente es necesario separar elementos de sustrato, como por ejemplo elementos de vidrio, en especial placas de vidrio, a lo largo de un área de separación definida exactamente. El cumplimiento de un curso previamente definido del área de separación es de gran importancia, a modo de ejemplo, para la interoperabilidad de los elementos parciales de sustrato obtenidos tras la separación con otros componentes.

Además de un área de separación limpia a este respecto, las especificaciones también prescriben frecuentemente el requisito de resistencia elevada de la superficie de separación, es decir, del borde. Esto se debe a que los elementos de sustrato como, en especial, elementos parciales de vidrio, cuyas áreas de separación presentan una resistencia elevada, son generalmente menos sensibles a influencias exteriores. De este modo, hasta cierto punto, se puede impedir completa o al menos parcialmente que se produzcan daños externos en el área de separación y que los defectos presentes eventualmente continúen en el interior del material.

En este caso, los procedimientos comunes y conocidos por el especialista del estado de la técnica para la realización de un proceso de separación son, por ejemplo, la separación térmica por rayo láser (TLS), a modo de ejemplo por medio de un láser CO<sub>2</sub>, el trazado láser o también la separación térmica basada en láser (procedimiento de corte por choque térmico basado en láser). Este último tiene por objetivo la continuación de una grieta inicial en el elemento de sustrato por medio de tensiones termomecánicas, típicamente generada mediante un láser CO<sub>2</sub>. No obstante, a todos estos métodos es común que con ellos no se puede controlar, o solo de manera insuficiente, el curso de la grieta dentro del material.

En el procedimiento de perforación láser igualmente conocido por el especialista se eliminan zonas individuales del elemento de sustrato a separar a lo largo del área de separación deseada con un láser en el ámbito de un proceso láser de pulso ultracorto (UKP).

La Figura 1a muestra una situación conocida por el estado de la técnica en una vista superior y la Figura 1b muestra la misma situación en una perpendicular a la vista de la vista de la Figura 1a. En la Figura 1a y en la Figura 1b se puede ver un elemento de sustrato 1, que comprende un cuerpo de sustrato 3, presentando el cuerpo de sustrato 3 un material de sustrato. A modo de ejemplo, el elemento de sustrato 1 puede ser un elemento de vidrio, el cuerpo de sustrato 3 puede ser un cuerpo de vidrio y el elemento de sustrato puede ser vidrio. El elemento de sustrato 1 se debe preparar para poder separarse a lo largo de un área de separación, que se sitúa en el plano del dibujo de la Figura 1b y discurre a través de los puntos centrales de los huecos circulares 5. Para ello, en la perforación láser se emplea frecuentemente un sistema láser UKP, que genera un foco lineal 7 en el material de sustrato. De este modo se puede eliminar el material de sustrato en los puntos deseados para generar de este modo los huecos 5, o bien cavidades como orificios perforados en el elemento de sustrato 1, o bien el cuerpo de sustrato 3.

A continuación, el elemento de sustrato 1 premecanizado se separa definitivamente, a modo de ejemplo mediante rotura mecánica o mediante hendidura a lo largo de la línea de perforación formada por los orificios perforados.

No obstante, se ha mostrado que el curso de la línea de agrietado y, por lo tanto, el curso del área de separación en el material de sustrato, es apenas controlable en este procedimiento. De este modo se observó que, en el caso de rotura, la línea de agrietado puede diferir de la línea de perforación y discurrir lejos de la misma, lo que puede dar lugar consecuentemente a un área de separación que no corresponda al curso deseado en realidad. A menudo, también la fuerza necesaria para la rotura es relativamente elevada. Y cuanto mayor sea la aplicación de fuerza necesaria, tantos más daños del material de sustrato se producirán en el propio proceso de rotura.

Hasta cierto punto, el curso del área de separación se puede hacer más controlable aumentándose el número de orificios perforados a lo largo del área de separación, por lo tanto reduciéndose la distancia entre huecos adyacentes. También se puede reducir de este modo la fuerza de rotura necesaria. Sin embargo, según la sorprendente observación se muestra que después de que los huecos caen por debajo de una cierta distancia, la fuerza para la siguiente rotura ya no disminuye, sino que, por el contrario, incluso aumenta de nuevo. Esto va acompañado frecuentemente de una extinción al menos temporal y/o por zonas del foco lineal, de modo que no se generan huecos temporales, o bien por zonas. También desciende el control sobre el proceso de rotura. De este modo se establece un límite a una reducción adicional de la distancia por debajo de un determinado valor. Este valor corresponde

aproximadamente al décuplo de la expansión máxima del hueco en un plano de sección transversal perpendicular a la dirección de extensión principal del hueco.

5 Además, se ha puesto de manifiesto que los elementos parciales de sustrato separados a lo largo de la línea de perforación tienen frecuentemente un área de separación (borde), que presentan una resistencia apenas reducida.

10 Es sabido que, de manera concomitante, debido al proceso de perforación se forman (micro)grietas en el material de sustrato alrededor de las cavidades formadas. Además de las grietas, deseadas en principio, que se sitúan dentro del área de separación deseada y favorecen el posterior proceso de separación, también se forman grietas con otras orientaciones. Estas últimas representan un daño previo del elemento de sustrato y conducen posteriormente a una menor resistencia de bordes de los elementos parciales de sustrato separados. Mediante selección apropiada de los parámetros láser en función de las propiedades del material, ciertamente se puede ejercer una influencia sobre la manifestación de este y otros daños materiales. A modo de ejemplo, se puede controlar el número y la longitud de las grietas hasta un cierto punto. Sin embargo, en este caso se debe llegar a un compromiso entre separabilidad posterior y daño previo.

15 En otras palabras, por lo tanto, la situación convencional se puede describir también como sigue: mediante la interacción no lineal de un pulso láser UKP con el material de sustrato a lo largo de la línea focal se genera un microcanal (diámetro frecuentemente menor que 1  $\mu\text{m}$ ) en el sustrato, pudiéndose presionar el material de sustrato al interior de las zonas marginales y dando lugar a una compactación de este modo. Alrededor del canal se producen microgrietas en dirección radial (en función de la potencia del pulso). Si se utiliza un pulso de ráfaga (es decir, si el canal es afectado por varios pulsos en un corto periodo de tiempo), la zona alrededor del canal se daña por una variedad de microgrietas más largas. Si el paso, es decir, la distancia de microcanales adyacentes es grande frente al diámetro de orificio y la longitud de microgrietas, se pueden generar microcanales adyacentes sin influencia óptica ni mecánica a través de su respectivo precursor. Con paso decreciente, en primer lugar se llega al sombreado de una parte de la energía radiante a través del microcanal generado previamente, lo que influye en la formación del actual microcanal. Por lo demás, en el caso de un paso reducido adicionalmente, el material de barra remanente entre el microcanal producido actualmente y su predecesor adyacente a través de ambos sistemas de microgrietas adyacentes se debilita de tal manera que se produce una rotura de la barra y el material se prensa en el microcanal generado previamente, donde se funde de nuevo debido a las elevadas densidades de potencia, o bien pega de nuevo el canal previo. Por lo tanto, una línea de perforación con paso corto generada de este modo presenta una separabilidad claramente peor que lo que sería de esperar verdaderamente por un observador imparcial.

20 El documento US 2018 345 419 A1 se refiere al campo de láser y en especial al procesamiento de materiales transparentes y se puede emplear para el corte, rotura y para otros procedimientos de procesamiento de materiales transparentes, incluyendo vidrio, vidrio endurecido químicamente, zafiro y otros materiales cristalinos, mediante el empleo de un rayo láser de Gauss-Bessel asimétrico de pulso ultracorto con distribución de intensidad.

25 El documento US 2017/252859 A1 se refiere a elementos ópticos difractivos utilizados en sistemas ópticos para la conformación de haz de un rayo láser y en especial para la conformación de haz de un rayo láser para el procesamiento de materiales que son esencialmente transparentes para el rayo láser.

30 Por lo tanto, es tarea de la presente invención indicar un procedimiento con el que se puedan separar elementos de sustrato de manera sencilla pero más segura y fiable o se pueda preparar la separación, debiendo ser predeterminable del modo más preciso posible el curso del área de separación y debiendo ser lo menor posible una eventual aplicación de fuerza necesaria para la rotura. Simultáneamente, también en el caso de elementos parciales de sustrato se debe mejorar la resistencia de bordes. Además, es tarea de la presente invención indicar un elemento parcial de sustrato que presente áreas laterales (bordes) con una resistencia elevada.

35 Según un primer aspecto, la tarea se soluciona mediante la invención proponiéndose un procedimiento para la preparación y/o la realización de la separación de un elemento de sustrato en al menos dos elementos parciales de sustrato a lo largo de un área de separación, que comprende los pasos:

- 40
- 55 • puesta a disposición del elemento de sustrato que comprende al menos un cuerpo de sustrato que presenta al menos un material de sustrato;
  - control de al menos un foco lineal dentro del cuerpo de sustrato, de tal manera que a lo largo del área de separación se elimine y/o se desplace material de sustrato del cuerpo de sustrato al menos por zonas;
- 60 representando el foco lineal al menos un foco de al menos un haz de luz; estando formado el haz de luz en forma de un haz de luz con alimentación de haz asimétrica al menos en la zona del foco lineal;
- alimentándose la energía asimétricamente en el caso de alimentación de haz asimétrica y estando configurada de tal manera que el centro de gravedad de la distribución de energía en al menos un plano se

sitúe perpendicularmente al plano en el que se efectúa la propagación del haz, en la zona de material de sustrato no modificado previamente.

Por lo tanto, la invención toma como base el conocimiento sorprendente de que se pueden formar cavidades de manera fiable y en calidad uniformemente elevada dentro del material de sustrato cuando las cavidades ya formadas no influyen sobre el haz de luz. Los inventores identificaron que tal influencia de las cavidades directamente adyacentes se puede suprimir de manera especialmente efectiva reduciéndose o eliminándose por completo aquellos componentes laterales del haz de luz empleado, que "colisionan", por así decirlo, con cavidades ya formadas. No obstante, debido al gran aparato numérico, en los focos lineales convencionales los haces parciales tienen normalmente componentes laterales significativos y, por lo tanto, existe correspondientemente un gran "peligro de colisión".

Según la enseñanza inventiva, un haz de luz con alimentación de haz asimétrica cumple la propiedad de haces parciales laterales reducidos, o bien eliminados, de manera especialmente sencilla y efectiva. A tal efecto (a modo de ejemplo mediante una óptica de conformación de haz), la energía ya no se alimenta en simetría rotacional sobre la línea focal a lo largo de un área cónica, sino ahora de forma asimétrica. En otras palabras, el haz de luz se forma de tal manera que, a diferencia de los haces de luz empleados convencionalmente, no presenta fracciones que puedan encontrarse con las cavidades ya formadas. De este modo, se puede asegurar que el haz de luz no se vea afectado en gran medida por cavidades ya formadas y, por lo tanto, se pueda formar una línea de perforación de calidad especialmente elevada, ya que el foco lineal se puede formar en calidad elevada constante en todo el intervalo de grosores del elemento de sustrato.

En relación con la alimentación de haz, o bien la alimentación de energía, en el presente documento, el concepto "asimétrico" se entiende en el sentido de "no simétrico rotacionalmente". Esto significa que no se excluyen otras simetrías. Por ejemplo, el haz Airy tiene un plano especular paralelo al plano en el que se sitúa su curso arqueado.

De este modo, el procedimiento propuesto contribuye de forma especialmente inteligente a un proceso de separación mejorado y a un resultado, o bien a la preparación de la separación, ya que se mejora tanto un control de curso del área de separación mejorado significativamente con fuerza de rotura reducida como la resistencia de los bordes.

No obstante, simultáneamente, el procedimiento según la invención se puede realizar con medios comunes y, por lo tanto, integrar en instalaciones existentes. De este modo, en especial procedimientos para cortar placas de sustrato y activar cortes de placas de sustrato, se pueden operar de modo especialmente eficiente y con resultados especialmente buenos.

Por lo tanto, la invención posibilitaba preferentemente separar o poder preparar para ello elementos de sustrato, en especial elementos de sustrato transparentes y/o quebradizos, como por ejemplo elementos de vidrio, en especial placas de vidrio o láminas de vidrio, elementos vitrocerámicos, en especial placas vitrocerámicas o láminas vitrocerámicas y/o elementos de silicio, en especial obleas de silicio, incluso con grandes grosores a partir de 0,6 mm, en especial con un grosor de entre 0,6 mm y 10 mm, preferentemente de entre 0,6 mm y 5 mm o de entre 3 mm y 5 mm, de modo aún más preferente de entre 0,6 mm y 3 mm, de modo aún más preferente de entre 0,6 mm y 2 mm o del modo más preferente de entre 0,6 mm y 1,5 mm. De manera alternativa o complementaria, los elementos de sustrato tienen un grosor que es mayor que 1 mm, mayor que 5 mm o mayor que 10 mm. A modo de ejemplo, los elementos de sustrato pueden presentar un grosor de 1 mm a 50 mm, de 1 mm a 40 mm, de 1 mm a 30 mm, de 1 mm a 20 mm o de 1 mm a 15 mm. Además, con la invención es posible de forma significativa poder separar los elementos de sustrato con solo algunas pasadas (es decir, desplazamientos relativos de elemento de sustrato respecto a láser), aproximadamente entre 2 y 10 pasadas, pero también solo con una única pasada, o bien prepararlos para ello. Esto posibilita un proceso muy eficiente.

En este caso, el procedimiento se puede aplicar generalmente sobre elementos de sustrato transparentes, quebradizos, como vidrio, vitrocerámica, silicio y zafiro. Esto hace que el procedimiento sea empleable de manera universal.

Dicho de otro modo, el procedimiento según la invención posibilita en principio procesar elementos de sustrato en un primer paso mediante la generación de modificaciones, como por ejemplo perforaciones, es decir, por ejemplo canales en forma de tubo. En un paso adicional, mediante aplicación de tensiones mecánicas y/o térmicas en el material se puede separar el elemento de vidrio o generar un contorno interior/exterior cerrado. Preferentemente se generan contornos interiores mediante un proceso de grabado. No obstante, a modo de ejemplo, en principio también se pueden generar contornos exteriores mediante grabado posterior. Mediante el procedimiento aplicado en el paso adicional se unen generalmente los canales generados en el primer paso, a modo de ejemplo mediante grietas o mediante eliminación de material.

En este caso, el especialista entiende que, en el caso de un haz asimétrico, se presenta una disposición asimétrica de haces parciales pero, por supuesto, en principio no se utilizan varias trayectorias de haz para la alimentación de haz asimétrica.

En este caso, el especialista comprende que el foco lineal se puede formar en principio dentro del cuerpo de sustrato. A este respecto, esto excluye casos en los que el foco lineal esté formado completamente dentro del cuerpo de sustrato, es decir, en los que no se forme ningún foco lineal fuera del cuerpo de sustrato. En este caso, el foco lineal está formado preferentemente hasta la superficie del cuerpo de sustrato dentro del cuerpo de sustrato, o bien el foco lineal está formado hasta una cierta distancia, por ejemplo una distancia de hasta 2  $\mu\text{m}$ , de hasta 1  $\mu\text{m}$  o de hasta 0,5  $\mu\text{m}$  a la respectiva superficie dentro del cuerpo de sustrato. Sin embargo, esto también incluye casos en los que el foco lineal está formado ciertamente en el cuerpo de sustrato, pero también se extiende fuera del mismo. De hecho, esto representa incluso un caso preferente.

Si a lo largo del área de separación se elimina y/o se desplaza material sustrato del cuerpo de sustrato al menos por zonas, esto se efectúa preferentemente mediante el foco lineal. En otras palabras, controlándose el foco lineal dentro del cuerpo de sustrato, el foco lineal elimina, o bien desplaza material de sustrato del cuerpo de sustrato al menos por zonas a lo largo del área de separación.

En formas de realización preferentes, el elemento de sustrato representa o comprende un elemento de vidrio en forma de una lámina de vidrio.

En este caso, el especialista comprende que si se efectúa algo "a lo largo" del área de separación, a modo de ejemplo la eliminación de material de sustrato del cuerpo de sustrato, el área de separación aún no debe estar presente necesariamente por completo en ese momento, ya que solo se forma completamente tras la separación del elemento de sustrato en ambos elementos parciales de sustrato. En su lugar, se trata entonces del área de separación planificada.

Por lo tanto, en formas de realización preferentes, el procedimiento puede comprender de manera alternativa o complementaria el paso: determinación de un área de separación planificada del elemento de sustrato.

Todo lo que se refiere al área de separación en el elemento de sustrato no separado, se refiere al área de separación planificada. A modo de ejemplo, el control del foco lineal comprende que a lo largo del área de separación se elimine y/o se desplace material de sustrato del cuerpo de sustrato al menos por zonas.

Con el procedimiento propuesto se puede controlar de manera especialmente segura el curso de la línea de agrietado y de este modo el curso de la línea de separación en el material de sustrato. También se puede reducir la fuerza de rotura necesaria, lo que evita daños adicionales en la rotura. Esto se debe a que las cavidades individuales se pueden posicionar en mayor proximidad. También se puede aumentar la resistencia de las áreas de separación, en especial ya que mediante el procedimiento se introducen pocas o incluso no se introduce ninguna microgrieta.

De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que en la alimentación de haz asimétrica (i) se alimente la energía asimétricamente y que esta esté configurada de modo que el centro de gravedad de la distribución de energía se sitúe en al menos un plano en el que se efectúa la propagación de haz, en la zona del material de sustrato no modificado hasta el momento, es decir, en el lado opuesto a la cavidad previa; (ii) los haces parciales del haz de luz inciden solo desde una mitad del espacio o una parte del mismo; (iii) presentando el haz de luz un ángulo polar  $p$  de  $0^\circ < p < 90^\circ$  y/o encontrándose los haces parciales del haz de luz dentro de un intervalo de ángulos azimutales menores que  $180^\circ$ , preferentemente entre  $85^\circ$  y  $100^\circ$ , en especial de entre  $90^\circ$  y  $95^\circ$ ; (iv) incidiendo los haces parciales del haz de luz solo desde direcciones que se seleccionan de modo que no se propaguen por zonas del cuerpo de sustrato de las que se eliminó y/o desplazó ya material de sustrato y/o se compactó el material de sustrato; (v) presentando el haz de luz al menos un plano especular paralelo al plano en el que se efectúa la propagación de haz; (vi) debiéndose entender el concepto "asimétrico" en el sentido de "no simétrico rotacionalmente", en especial no excluyéndose tampoco otras simetrías; y/o (vii) incidiendo los haces parciales del haz de luz en cualquier plano paralelo a al menos una superficie del elemento de sustrato y/o en cualquier plano perpendicular al eje óptico del haz de luz solo desde uno o solo desde dos cuadrantes.

Si la energía se alimenta asimétricamente, y de modo preferente se configura para que el centro de gravedad de la distribución de energía se sitúe en el plano perpendicular a la dirección de propagación de haz en la zona del material no modificado hasta el momento, es decir, en el lado opuesto a la cavidad previa, se puede impedir de manera especialmente efectiva que el foco lineal se vea influenciado por cavidades ya presentes.

Mediante la alimentación de energía asimétrica, por lo tanto mediante la alimentación de haz asimétrica, se consigue que la energía láser ya no se enfoque en simetría rotacional, visto en un plano perpendicular al eje óptico, desde todas las direcciones a lo largo de una línea focal.

Por lo tanto, el concepto "(no) desde todas las direcciones" se refiere al componente en el plano transversal, es decir, en el plano perpendicular al eje óptico. El componente a lo largo del eje óptico muestra apunta siempre a la dirección de propagación del rayo láser.

Tanto el haz Airy como el Bessel presentan un ángulo polar  $p$  con  $0^\circ < p < 90^\circ$ . En este caso, la dirección polar se define como la dirección de propagación del centro de gravedad del rayo láser, o bien el eje polar paralelo al eje óptico.

En el caso del haz Airy, la anchura de intervalo del ángulo azimutal de los haces parciales es menor que  $180^\circ$ , a modo de ejemplo entre  $90^\circ$  y  $95^\circ$ . O dicho de otro modo: visto en coordenadas polares, el ángulo azimutal ya no barre  $360^\circ$ , es decir, ya no barre todas las direcciones sino solo un corte de ellas.

5 En formas de realización preferentes, se da el caso en el que se presenta una línea focal curvada. En tales casos, el especialista habla también de un "haz de luz acelerado".

10 Los haces parciales pueden discurrir en una mitad del espacio o en una parte del mismo, asegurando esto que los haces parciales discurran siempre en la zona de material aún no mecanizada.

15 Es preferente que para la alimentación de haz asimétrica, los haces parciales y su dirección de incidencia se consideren en un plano, siendo el plano preferentemente perpendicular a un plano en el que se efectúa la propagación de haz.

De manera alternativa o adicional, puede estar previsto que el haz de luz comprenda al menos un rayo láser, que el haz de luz esté formado como haz Airy o como haz Bessel al menos en la zona del foco lineal y/o que la energía láser se enfoque a lo largo de la línea focal del foco lineal.

20 Un haz Airy es especialmente apropiado para una alimentación de haz asimétrica/lateral. Un haz Bessel es especialmente apropiado para una alimentación de haz simétrica/radial.

Un haz Airy o un haz Bessel se pueden generar además de manera especialmente sencilla y eficiente.

25 Por ejemplo, un haz gaussiano puede servir como base de partida, que se convierte entonces en un haz Bessel por medio de ópticas apropiadas, como por ejemplo un axicón.

30 Como haz de partida para un haz Airy se puede emplear un haz gaussiano. A partir de este haz gaussiano se aplica entonces una fase cúbica, por ejemplo por medio de máscara de fase, como una DOE o SLM, o lentes cilíndricas. Este haz con fase cúbica se visualiza a continuación, por ejemplo con un objetivo de microscopio. En otras palabras, esto significa que un haz Airy puede resultar una imagen de un haz con fase cúbica que se genera directamente mediante una máscara de fase (DOE o SLM) o una estructura con lentes cilíndricas. En términos diferentes, o bien complementarios, en este caso, el haz Airy se genera como transformada de Fourier de la fase cúbica. Para una manifestación de la transformada de Fourier con fase plana, es decir, para una propagación en lo posible óptima antes y después de la fase de Fourier, la fase cúbica se marca preferentemente en el "plano focal frontal", es decir, el plano focal delante de la óptica de imagen. En este caso, el plano de Fourier corresponde al plano focal trasero ("plano focal posterior") de la óptica de imagen.

40 De manera alternativa o adicional, también puede estar previsto que el control del foco lineal comprenda que el foco lineal se forme sucesivamente dentro de diferentes zonas locales del material de sustrato y de este modo el material sustrato se elimine y/o se desplace respectivamente de estas zonas locales, en especial que el material de sustrato se compacte en una parte del cuerpo de sustrato que rodea la respectiva zona local, discurriendo preferentemente las zonas locales individuales, en especial en al menos un primer plano de sección transversal específico del elemento de sustrato que discurre perpendicularmente al área de separación, perpendicularmente al eje óptico del haz de luz y/o paralelamente a al menos una primera superficie del elemento de sustrato, a lo largo de una trayectoria rectilínea.

45 Seleccionándose diferentes zonas locales del material de sustrato para la formación del foco lineal se puede determinar selectivamente el curso y la formación de los orificios de perforación. En especial, de este modo se pueden seleccionar ubicaciones discretas del cuerpo de sustrato, o bien del material de sustrato, en las que se deben introducir orificios de perforación.

50 Para la formación de un área de separación rectilínea, las zonas locales individuales se pueden seleccionar de modo que discurran a lo largo de una trayectoria rectilínea.

55 En este caso, el especialista entiende que una zona local del material de sustrato puede ser en principio mayor que la zona que ocupa el foco lineal en el material de sustrato. Una zona local se determina eliminándose y/o desplazándose en esta el material de sustrato a través del foco lineal. A modo de ejemplo, dentro del cuerpo de sustrato, el material de sustrato se puede desplazar predominantemente y en la zona superficial del cuerpo de sustrato se puede eliminar predominantemente el material de sustrato.

60 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que el foco lineal y/o las zonas locales se seleccione, o bien se seleccionen de modo que la máxima expansión de las zonas locales en el primer plano de sección transversal específico se sitúe entre  $0,2\ \mu\text{m}$  y  $200\ \mu\text{m}$ , y preferentemente entre  $0,2\ \mu\text{m}$  y  $100\ \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,2\ \mu\text{m}$  y  $50\ \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,3\ \mu\text{m}$  y  $20\ \mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre  $0,3\ \mu\text{m}$  y  $10\ \mu\text{m}$  y del modo más preferente  $0,7\ \mu\text{m}$ .

65

Si se elige apropiadamente la extensión de las zonas locales, es decir, la extensión de las zonas a partir de las cuales se elimina, o bien se desplaza material, se puede obtener una línea de perforación especialmente ventajosa para la siguiente separación, a modo de ejemplo mediante rotura mecánica.

5 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que las zonas locales adyacentes respectivamente en el primer plano de sección transversal específico, en especial a lo largo de la trayectoria, pueden presentar una distancia centro-centro respectiva que se sitúa entre 1 y 500 veces, preferentemente entre 1 y 100 veces, de modo aún más preferente entre 1 y 50 veces, de modo aún más preferente entre 1 y 10 veces, de modo aún más preferente entre 1,1 y 5 veces la máxima expansión de zonas locales en el primer plano de sección transversal específico y/o entre 0,1  $\mu\text{m}$  y 500  $\mu\text{m}$ , preferentemente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 400  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,4  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 1  $\mu\text{m}$  y 7  $\mu\text{m}$ , y del modo más preferente entre 1  $\mu\text{m}$  y 3  $\mu\text{m}$ .

15 Seleccionándose la distancia de zonas locales adyacentes en función de la expansión de las zonas locales, para la separación del elemento de sustrato es suficiente una fuerza especialmente reducida. Esto conduce especialmente a menos daños adicionales en el material de sustrato. Esto favorece a su vez una resistencia del área de separación especialmente elevada. No obstante, al mismo tiempo, mediante la indicación absoluta de una distancia se puede conseguir un comportamiento de separación especialmente ventajoso.

20 De manera alternativa o adicional, también puede estar previsto que el control del foco lineal comprenda que el foco lineal se genere sucesivamente dentro de diferentes zonas de acción en el elemento de sustrato, en especial en el cuerpo de sustrato, y de este modo se elimine y/o se desplace el material de sustrato dispuesto dentro de estas zonas de acción respectivamente, en especial que el material de sustrato se compacte en una parte del cuerpo de sustrato que rodea la respectiva zona de acción, y seleccionándose la distancia de las zonas de acción individuales de modo que se superpongan al menos parcialmente zonas de acción al menos directamente adyacentes, de modo que se forme un corredor continuo exento de material de sustrato en el material de sustrato a lo largo del área de separación, discurrendo preferentemente las zonas de acción individuales, en especial en al menos un segundo plano de sección transversal específico del elemento de sustrato que discurre perpendicularmente al área de separación, perpendicularmente al eje óptico del haz de luz y/o paralelamente a al menos una segunda superficie del elemento de sustrato, a lo largo de una trayectoria rectilínea.

35 Haciendo converger diferentes zonas de acción entre sí, por así decirlo, para la formación del foco lineal, ya que en cada caso todo el material de sustrato presente dentro de la zona de acción se elimina, o bien se desplaza, a lo largo del área de separación se puede conseguir incluso la separación inmediata del elemento de sustrato. De este modo se puede prescindir del paso adicional de rotura mecánica.

40 Para la formación de un área de separación rectilínea, las zonas de acción individuales se pueden seleccionar de modo que discurren a lo largo de una trayectoria rectilínea.

45 Ventajosamente, el "corredor" posibilita que se puedan separar partes tanto interiores como exteriores. Es decir, se pueden eliminar también partes interiores de un sustrato. A modo de ejemplo, a partir de un sustrato (en forma de paralelepípedo) se puede eliminar una abertura circular, de modo que en el sustrato haya un orificio. Según se trate de un contorno interior o exterior, en este caso se puede emplear, por ejemplo, una rotura mecánica y/o un grabado. Precisamente en el caso de contornos interiores, por lo general no se puede emplear una rotura mecánica.

50 En este caso, el especialista entiende que una zona de acción del material de sustrato puede ser en principio mayor que la zona que ocupa el foco lineal. Una zona de acción se determina eliminándose y/o desplazándose en esta el material de sustrato a través del foco lineal. Correspondientemente, está claro que las zonas de acción individuales no se tienen que llenar completamente con material de sustrato, sino que solo se elimina, o bien se desplaza el material de sustrato que está contenido en las mismas.

55 En una forma de realización, el segundo plano de sección transversal específico del elemento de sustrato es igual al primer plano de sección transversal específico del elemento de sustrato.

En una forma de realización, la segunda superficie del elemento de sustrato es igual a la primera superficie del elemento de sustrato.

60 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que el foco lineal y/o las zonas de acción se seleccione, o bien se seleccionen de modo que la máxima expansión de las zonas de acción en el segundo plano de sección transversal específico se sitúe entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , y preferentemente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  y del modo más preferente 0,7  $\mu\text{m}$ .

65 Si se elige apropiadamente la extensión de las zonas de acción, es decir, de las zonas a partir de las cuales se elimina, o bien se desplaza material, el "corredor" se puede impulsar de modo especialmente eficiente a través del material de

sustrato. Cuanto más grande se selecciona la zona de acción individual, menor será el número de zonas de acción convergentes necesarias.

5 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que las zonas de acción adyacentes respectivamente en el segundo plano de sección transversal específico, en especial a lo largo de la trayectoria, pueden presentar una distancia centro-centro respectiva que corresponde entre 0,01 veces y 1,0 vez, preferentemente entre 0,01 veces y 0,5 veces la máxima expansión de zonas de acción en el segundo plano de sección transversal específico y/o se sitúe entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ , del modo más preferente entre 0,005  $\mu\text{m}$  y 0,3  $\mu\text{m}$ .

15 Seleccionándose la distancia de zonas de acción adyacentes en función de la expansión de las zonas de acción, el corredor se puede generar en un tiempo de procesamiento optimizado. Además, de este modo se puede conseguir una resistencia del área de separación especialmente elevada. No obstante, al mismo tiempo, mediante la indicación absoluta de una distancia se puede conseguir un comportamiento de separación especialmente ventajoso.

20 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que las zonas locales y/o las zonas de acción en el material de sustrato discurran al menos parcialmente de forma tubular, cilíndrica y/o arqueada, en especial falcada en especial en al menos un plano de sección transversal, y/o que se extiendan preferentemente de la primera, o bien segunda superficie del cuerpo de sustrato a la superficie del cuerpo de sustrato opuesta a la superficie a través de todo el intervalo de grosores del cuerpo de sustrato incluido entre ambas superficies.

25 En formas de realización preferentes, las zonas de acción y/o las zonas locales se extienden en una dirección paralela al área de separación y/o perpendicular a la dirección de extensión principal del área de separación y/o de la trayectoria.

En formas de realización preferentes, las tangentes locales de las zonas de acción y/o de las zonas locales se sitúan en el plano que se define mediante el foco lineal curvado.

30 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que el control del foco lineal comprenda que el elemento de sustrato se desplace relativamente a al menos un haz de luz y/o foco lineal, mediante lo cual se puede formar preferentemente el foco lineal, en especial de manera sucesiva o continua, al menos en las diferentes zonas locales y/o de acción.

35 El foco lineal se puede formar en las zonas locales y/o de acción individuales de modo especialmente sencillo y fiable desplazándose el elemento de sustrato respecto al haz de luz. Por lo tanto, los aparatos y las ópticas necesarios para la generación del haz o los haces de luz no se tienen que cambiar para ello, aunque en principio se podría. Por lo tanto, por así decirlo, tras cada desplazamiento relativo del elemento de sustrato se puede formar de nuevo el foco lineal que se encuentra cada vez en una nueva zona local, o bien de acción, debido al desplazamiento del elemento de sustrato. Alternativamente, el foco lineal también puede permanecer continuo mientras el elemento de sustrato se desplaza relativamente. De modo preferente, esta variante es adecuada para la formación de un corredor, es decir, la separación completa del elemento de sustrato.

En formas de realización preferentes se efectúa un reajuste y/o una adaptación de la geometría de haz.

45 El especialista sabe que una formación continua del foco lineal no es posible en el caso de un láser pulsado, pero que el foco lineal formado con tal láser en el sentido de la invención se puede formar muy bien "continuamente en las diferentes zonas locales y/o de acción". Esto no significa otra cosa que el lugar donde se forma el foco de la línea cambia continuamente.

50 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que el haz o los haces de luz (i) presente, o bien presenten una longitud de onda de entre 300 nm y 1500 nm, en especial 343 nm, 355 nm, 515 nm, 532 nm, 1030 nm o 1064 nm, (ii) presenten una longitud de onda de la zona de transparencia del material de sustrato y/o (iii) se emitan por al menos un láser pulsado, en especial un láser pulsado ultracorto, con una duración de pulso de entre 200 fs y 50 ps, preferentemente de entre 500 fs y 10 ps, una frecuencia de pulso en la ráfaga de entre 1 y 10, preferentemente 4, una tasa de repetición de entre 1 kHz y 4 GHz, preferentemente 40 MHz, y/o una energía de pulso de entre 80  $\mu\text{J}/\text{mm}$  y 300  $\mu\text{J}/\text{mm}$ , preferentemente 100-230  $\mu\text{J}/\text{mm}$ , en especial 180  $\mu\text{J}/\text{mm}$ .

60 El foco lineal se puede formar de manera especialmente robusta y fiable con parámetros preferentes del haz de luz, o bien del rayo láser.

Los láser UKP tienen una densidad de potencia elevada, mediante lo cual se pueden aprovechar efectos no lineales del material de sustrato. En especial se pueden aprovechar efectos focales, mediante lo cual son posibles cavidades menores.

65 Una ráfaga se caracteriza por el hecho de que varios pulsos se suceden en un corto periodo de tiempo, es decir, por ejemplo, dentro de una ventana de tiempo menor que 1  $\mu\text{s}$ , preferentemente menor que 0,1  $\mu\text{s}$  o incluso menor que

0,01  $\mu$ s, con una distancia entre dos pulsos menor que 50 ns. En general, estos también pueden tener la misma energía, especialmente la potencia máxima de pulso.

5 De manera alternativa o complementaria también puede estar previsto que el elemento de sustrato se rodee de al menos un fluido al menos parcialmente y/o por zonas y/o esté dispuesto al menos parcialmente y/o por zonas dentro del fluido al menos mientras el material de sustrato se elimina y/o se desplaza, de modo que el fluido pueda entrar en el punto de material de sustrato eliminado, o bien desplazado, comprendiendo preferentemente el haz de luz al menos una longitud de onda y presentando el fluido para la longitud de onda del haz de luz un índice de refracción que difiere como máximo 30 % del índice de refracción del cuerpo de sustrato y/o un índice de refracción de entre 1,2 y 2,5; en especial comprendiendo el fluido un líquido, presentando un índice de refracción que difiere como máximo 20 %, 10 %, 7 %, 5 %, 3 % o 1 % del índice de refracción del cuerpo de sustrato y/o presentando un índice de refracción de entre 1,2 y 2,1, preferentemente de entre 1,3 y 1,6.

15 Se demostró que el aumento observado de la fuerza de rotura a aplicar con distancia reducida de huecos individuales también está relacionado con el hecho de que la formación de un hueco podría dar lugar a un relleno con material de sustrato del hueco adyacente, generado inmediatamente antes. Esto puede ser la consecuencia de material fundido y nuevamente solidificado o de material sustrato que se compacta en la formación de la nueva cavidad en el cuerpo de sustrato (o bien en la pared entre cavidades adyacentes) y se presiona desde esta a la cavidad adyacente.

20 Mediante la presencia de fluido en cavidades existentes se pudo impedir con éxito que estas se rellenaran de nuevo completa o parcialmente con material de sustrato al formarse nuevas cavidades en su proximidad. Ya que el fluido es incompresible, la cavidad existente parece estabilizarse mecánicamente mediante el fluido. Si se forma una nueva cavidad en posición adyacente, se impide eficazmente que el material de sustrato se presiones en la cavidad ya existente. En otras palabras, se ejerce una fuerza contraria sobre el material entre la cavidad existente y la cavidad anterior.

30 Al evitar una descarga de una nueva cavidad mediante cavidades previas se observó además un pretensado mejorado del borde del área de separación, mediante lo cual se consigue una estabilidad de bordes más elevada. Los inventores se explican este efecto mediante el hecho de que, durante la formación de una cavidad, el material se presiona entonces de manera acrecentada en la pared que rodea la cavidad en lugar de hacerlo en las cavidades adyacentes, aplicándose una tensión de compresión radial en la pared compactada. En los elementos parciales de sustrato, esto corresponde entonces a una zona compactada, por lo tanto a una zona de tensión de compresión paralela al área de separación.

35 Simultáneamente, los inventores observaron también que con un fluido se pueden impedir o al menos reducir efectos superficiales, a modo de ejemplo en el caso de un proceso láser. Es decir, la intensidad umbral para una ignición de plasma en la superficie de sustrato se optimiza cuando la superficie del elemento de sustrato se humedece con el fluido o si el elemento de sustrato en su conjunto se encuentra en el fluido. De este modo se obtiene una mayor homogeneidad de las cavidades a lo largo de toda la longitud.

40 Además, el fluido dentro de las cavidades puede contribuir a reducir aun adicionalmente cualquier influencia posterior concebible del foco lineal debida a cavidades adyacentes. Y los resultados serán tanto mejores cuanto más próximo esté el índice de refracción del fluido al del material de sustrato. Los inventores sospechan que la razón de esto es que cuando se adapta el índice de refracción tienen lugar pérdidas de energía menores o incluso nulas en las interfases.

45 Si un fluido está presente y, a modo de ejemplo, rellena las zonas de acción, la refracción y/o dispersión de haces parciales del haz de luz en la superficie libre de la zona o de las zonas de acción previas se puede reducir significativamente en la proximidad del foco lineal. De este modo se puede realizar el área de separación de forma claramente selectiva.

50 Si el índice de refracción corresponde o se aproxima al del material de sustrato, el empleo del fluido es especialmente eficaz.

55 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que (i) el elemento de sustrato comprenda o represente un elemento de vidrio, un elemento vitrocerámico, un elemento de silicio y/o un elemento de zafiro, y/o esté diseñado al menos por zonas en forma de una placa y/o una oblea, en especial de una oblea de silicio; (ii) el cuerpo de sustrato comprenda o represente un cuerpo de vidrio, un cuerpo vitrocerámico, un cuerpo de silicio y/o un cuerpo de zafiro; y/o (iii) el material de sustrato comprenda o esté constituido por vidrio, vitrocerámica, silicio y/o zafiro.

60 Según un segundo aspecto, la tarea se soluciona mediante la invención proponiéndose, en especial produciéndose y/o siendo producible un elemento parcial de sustrato con un procedimiento según el primer aspecto de la invención, que comprende al menos un cuerpo que presenta al menos un material de vidrio, un material vitrocerámico y/o silicio, que presenta al menos un área lateral, presentando el área lateral una superficie modulada en altura al menos por zonas.

65

Por lo tanto, la invención toma como base el conocimiento sorprendente de que se puede obtener una resistencia elevada para un área lateral introduciéndose una pequeña irregularidad, por así decirlo artificialmente. Los inventores han identificado que una modulación de altura conduce aparentemente a una estabilización del área lateral y, por lo tanto, a una mayor resistencia de bordes.

5 Los inventores explican esta propiedad positiva mediante el hecho de que, debido a la modulación de altura, se presenten propiedades de tensión positivas en el cuerpo, que contribuyen a una resistencia más elevada en suma.

10 El especialista comprende que, en formas de realización preferentes, la altura, o bien la modulación de la superficie puede discurrir a lo largo de una dirección que es perpendicular a la dirección de extensión principal de la superficie.

15 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que la modulación de altura de la superficie represente una superficie ondulada y/o que la variación de la superficie debida a la modulación de altura se sitúe dentro de un intervalo de valores predeterminable, en especial dentro de un intervalo de valores de 0,5  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ , preferentemente dentro de un intervalo de valores de 0,5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ .

Si la modulación de altura de la superficie conduce a una ondulación de la superficie, en esta se pueden obtener valores de resistencia especialmente elevados.

20 Intervalos de valores preferentes conducen a resistencias preferentemente elevadas. Se sobrentiende que la variación de la diferencia entre valor máximo y mínimo describe la altura.

25 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que (i) el área lateral presente al menos por zonas una profundidad de rugosidad, preferentemente media, de entre 0,01  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ , preferentemente de entre 0,05  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , del modo más preferente de entre 0,05  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ , RZ, (ii) el área lateral presente al menos por zonas una rugosidad superficial, preferentemente media, y/o (iii) la variación de la superficie a consecuencia de la profundidad de rugosidad y/o rugosidad superficial sea entre 1 y 5, preferentemente 2 o 3 órdenes de magnitud menor que la variación de superficie a consecuencia de la modulación de altura.

30 Paralelamente a la modulación de altura, una rugosidad superficial, o bien profundidad de rugosidad lo menor posible se ha mostrado especialmente ventajosa para resistencias elevadas y conduce de este modo a un elemento parcial de sustrato especialmente estable y, por lo tanto, convenientemente empleable.

35 Está claro que la rugosidad superficial y la modulación de altura residen en diferentes escalas, en especial con una diferencia de entre 1 y 5 órdenes de magnitud.

40 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que el área lateral esté pretensada al menos por zonas y/o que a lo largo del área lateral la resistencia de bordes del elemento parcial de sustrato, en especial del cuerpo, sea mayor que 100 MPa, preferentemente mayor que 150 MPa, y/o sea variable y/o constante en toda el área lateral.

45 De manera alternativa o complementaria, también puede estar previsto que el área lateral, en especial a una escala macroscópica, sea plana y/o abovedada, en especial preferentemente en al menos un plano de sección transversal perpendicular al área lateral, al menos por secciones, que presente un curso parabólico y/o circular y/o un curso según una ecuación de cuarto grado.

En el caso de un área lateral abovedada, las fuerzas que actúan sobre esta se pueden disipar de modo especialmente ventajoso y aumentar de este modo la estabilidad del área lateral.

50 **Breve descripción de las figuras**

Otras características y ventajas de la invención resultan de la siguiente descripción, en la que se explica una forma preferente de realización de la invención por medio de dibujos esquemáticos:

55 En este caso muestran:

la Fig. 1a un cuerpo de sustrato mecanizado del estado de la técnica en una vista superior;

la Fig. 1b un cuerpo de sustrato mecanizado del estado de la técnica en una vista de sección transversal;

60 la Fig. 2a un primer elemento de sustrato en una vista superior;

la Fig. 2b el primer elemento de sustrato en una vista de sección transversal;

65 la Fig. 3a un segundo elemento de sustrato en una vista superior con un haz de luz en una primera configuración según el estado de la técnica;

- la Fig. 3b el segundo elemento de sustrato en una vista superior con un haz de luz en una segunda configuración;
- 5 la Fig. 4a un tercer elemento de sustrato en una vista superior con un haz de luz en una tercera configuración según el estado de la técnica;
- la Fig. 4b el tercer elemento de sustrato en una vista superior con un haz de luz en una cuarta configuración;
- 10 la Fig. 5a una primera vista de sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un haz Airy en un primer plano de sección transversal; y
- la Fig. 5b una segunda vista de sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un haz Airy en un segundo plano de sección transversal.

15

### Ejemplos

La Figura 2a muestra un primer elemento de sustrato 101 rectangular, en forma de disco, a modo de ejemplo un elemento de vidrio. El primer elemento de sustrato 101 comprende un cuerpo de sustrato 103, a modo de ejemplo un cuerpo de vidrio, que presenta un material de sustrato, a modo de ejemplo vidrio.

20

La Figura 2b muestra el primer elemento de sustrato 101 en una vista de sección transversal que discurre perpendicularmente a la vista de la Figura 2a.

25 Para preparar el primer elemento de sustrato 101 para poder separarlo a lo largo de un área de separación, que se sitúa en el plano del dibujo en la Figura 2b y discurre a través de los puntos centrales del hueco circular 105, el procedimiento según la invención prevé controlar un foco lineal 107 dentro del cuerpo de sustrato 103 de modo que se elimine y/o se desplace material de sustrato del cuerpo de sustrato 103 por zonas a lo largo de un área de separación definida. A tal efecto, el foco lineal 107 se forma sucesivamente dentro de diferentes zonas locales y de este modo se elimina, o bien se desplaza el material de sustrato de estas zonas locales respectivamente. La zona local corresponde a la zona de los huecos 105 en el anterior material de sustrato. Alrededor de los huecos 105 se pueden presentar modificaciones, en especial daños del cuerpo de sustrato 103, pero sin que se elimine, o bien se desplace material. A modo de ejemplo, estas pueden ser cambios del índice de refracción.

30

35 Las zonas locales adyacentes presentan en el plano del dibujo de la Figura 2a una distancia centro-centro que es mayor que la máxima expansión de las zonas locales en el plano del dibujo.

40 El foco lineal 107 se forma en este caso mediante un rayo láser, que está formado a su vez en la zona del foco lineal en forma de un haz de luz con alimentación de haz asimétrica. En esta alimentación de haz asimétrica, los haces parciales 109 del haz de luz inciden solo desde direcciones que se seleccionan de modo que no se propaguen a través de zonas del cuerpo de sustrato 103 de las cuales no se eliminó y/o desplazó ya material de sustrato y/o se compactó en el material de sustrato. En otras palabras, en la Figura 2a y la Figura 2b, los haces parciales 109 inciden solo desde la derecha, ya que los orificios de perforación se forman de izquierda a derecha.

40

45 El rayo láser presenta una longitud de onda situada en la zona de transparencia del cuerpo de sustrato 103 de 1030 nm y se genera por un láser de pulso ultracorto. El láser de pulso ultracorto tiene una longitud de pulso de 1 ps.

45

50 En una forma de realización, el primer elemento de sustrato 101, mientras se elimina, o bien se desplaza el material de sustrato, puede estar rodeado de un fluido (no mostrado en las Figuras 2a y 2b), de modo que el fluido pueda entrar en el punto del material de sustrato eliminado, o bien desplazado. Es decir, tan pronto se elimina, o bien se desplaza el material de sustrato, el fluido puede entrar ya en este punto. De este modo, los huecos 105 mostrados en las Figuras 2a y 2b también estarían completamente llenos de fluido.

50

55 En la presente invención, la alimentación de haz asimétrica es especialmente ventajosa de este modo. Esto se muestra en especial en el caso de presencia de interferencias laterales de gran área y/o diferencias de índice de refracción. Esto se debe a que la alimentación de haz asimétrica posibilita que los haces parciales del haz de luz que forma el foco se vean influenciados lo menos posible o apenas ligeramente por tales interferencias, o bien diferencias de índice de refracción.

55

60 La presente invención se puede emplear ventajosamente, a modo de ejemplo, para eliminar y/o desplazar material de un elemento de sustrato cerca de una transición entre dos índices de refracción.

60

Con ayuda de las Figuras 3a, 3b, 4a y 4b se explican las ventajas del procedimiento propuesto frente a realizaciones convencionales, considerándose diferentes configuraciones del haz de luz en distintos escenarios.

65

A tal efecto, las Figs. 3a y 3b muestran respectivamente un segundo elemento 201 igual en una vista superior. El segundo elemento de sustrato 201 comprende un cuerpo de sustrato 203, a modo de ejemplo un cuerpo de vidrio, que presenta un material de sustrato, a modo de ejemplo vidrio.

5 El material de sustrato del cuerpo de sustrato 203 se debe eliminar y/o desplazar localmente, a modo de ejemplo para preparar una separación del elemento de sustrato 201. A tal efecto se forma un foco lineal 205 con un haz de luz dentro del material de vidrio para formar de este modo un hueco en el material de sustrato. El foco lineal 205 discurre perpendicularmente al plano del dibujo de la Fig. 3a y 3b y se encuentra cerca de un borde 207 del elemento de sustrato 201.

10 El borde 207 representa una transición entre dos índices de refracción (en las Figuras 3a y 3b, por ejemplo, del de material de sustrato al de medio que rodea al elemento de sustrato 201).

15 En la Fig. 3a, el haz de luz está en una primera configuración que comprende una alimentación de haz convencional del foco lineal 205 según el estado de la técnica. En este caso, el foco lineal 205 se forma por haces parciales 209 que inciden (en el plano del dibujo de la Fig. 3a) desde todas las direcciones. De este modo, algunos haces parciales, concretamente los que están representados con líneas discontinuas en la Fig. 3a, discurren al menos parcialmente fuera del elemento de sustrato 201. Debido al cambio del índice de refracción en el borde 207, esto puede dificultar o incluso impedir la formación del foco 205.

20 En este caso, el concepto "desde todas las direcciones" se refiere al componente en el plano transversal, es decir, en el plano perpendicular al eje óptico. El componente a lo largo del eje óptico muestra apunta siempre a la dirección de propagación del rayo láser. O dicho con otras palabras: en coordenadas polares, el ángulo azimutal barre 360°, es decir, todas las direcciones, y el ángulo polar se mueve dentro del cono de enfoque predeterminado por el axicón como máxima expansión.

25 En la Fig. 3b, el haz de luz está en una segunda configuración que comprende una alimentación de haz asimétrica según la invención. En este caso, el foco lineal 205 se forma por haces parciales 209 que inciden (en el plano del dibujo de la Fig. 3b) solo desde determinadas direcciones. En este caso, los haces parciales 209 discurren completamente dentro del elemento de sustrato 201 para la situación representada en la Fig. 3b. De este modo se favorece de manera efectiva la formación del foco 205. Por lo tanto, la alimentación de haz asimétrica posibilita una manifestación de foco estable en la proximidad del borde 207.

30 La presente invención se puede emplear también ventajosamente, a modo de ejemplo, para eliminar y/o desplazar material de un elemento de sustrato cerca de interferencias laterales de gran área.

35 A tal efecto, las Figs. 4a y 4b muestran respectivamente un tercer elemento 301 igual en una vista superior. El tercer elemento de sustrato 301 comprende un cuerpo de sustrato 303, a modo de ejemplo un cuerpo de vidrio, que presenta un material de sustrato, a modo de ejemplo vidrio.

40 El material de sustrato del cuerpo de sustrato 303 se debe eliminar y/o desplazar localmente. A tal efecto se forma un foco lineal 305 con un haz de luz dentro del material de vidrio para formar de este modo un hueco en el material de sustrato. El foco lineal 305 discurre perpendicularmente al plano del dibujo de la Fig. 4a y 4b y se encuentra cerca de interferencias 307 del elemento de sustrato 301. En este caso, las interferencias 307 representan varias modificaciones introducidas en el cuerpo de sustrato 303, a modo de ejemplo, en forma de modificaciones en el índice de refracción y/o material de vidrio eliminado.

45 En la Fig. 4a, el haz de luz está en una tercera configuración que comprende una alimentación de haz convencional del foco lineal 305 según el estado de la técnica. En este caso, el foco lineal 305 se forma por haces parciales 309 que inciden (en el plano del dibujo de la Fig. 4a) desde todas las direcciones. De este modo, algunos haces parciales, concretamente los que están representados con líneas discontinuas en la Fig. 4a, discurren al menos parcialmente a través de las interferencias 307. Esto puede dificultar o incluso impedir completamente la formación del foco 305.

50 En la Fig. 4b, el haz de luz está en una cuarta configuración que comprende una alimentación de haz asimétrica según la invención. En este caso, el foco lineal 305 se forma por haces parciales 309 que inciden (en el plano del dibujo de la Fig. 4b) solo desde determinadas direcciones. En el plano del dibujo de la Fig. 4b, por lo tanto, los haces parciales discurren solo en el cuadrante superior derecho. En este caso, los haces parciales 309 discurren de tal manera que no discurren a través de las interferencias 307. De este modo se favorece de manera efectiva la formación del foco 305. Por lo tanto, la alimentación de haz asimétrica posibilita una manifestación de foco estable en la proximidad de las interferencias 307.

55 En especial, en el caso de muchas interferencias 307 situadas muy densamente como dichas modificaciones, es muy significativa la influencia de haces parciales 309, en especial en forma de sombreado. Por consiguiente, la alimentación de haz asimétrica en este caso es especialmente ventajosa. Un caso especial de esta aplicación es el cruce, en especial el cruce en T de dos líneas. O en otras palabras, el cruce de modificaciones que se extienden a lo largo de

60

65

dos líneas. También a tal efecto se puede emplear la invención preferentemente seleccionándose la alimentación de haz de manera apropiada.

5 Por lo tanto, la primera y la tercera configuración muestran respectivamente un haz de luz, como se emplea en el estado de la técnica, con los inconvenientes vinculados al mismo. Los inconvenientes se pueden superar con un haz de luz, seleccionándose para este una configuración según la invención, es decir, como la segunda y cuarta configuración.

10 La Figura 5a muestra una primera vista de sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un haz Airy en un primer plano de sección transversal. El primer plano de sección transversal discurre en este caso paralelamente al área de separación de un elemento de sustrato hipotético (por ejemplo en forma de paralelepípedo). Es decir, el área de separación se sitúa en el plano x-z (en  $y=0$ ) y corta el foco lineal arqueado completo. El foco lineal en la Figura 5a tiene su máxima intensidad en su centro, es decir, en la zona alrededor de ( $x=0$ ;  $z=0$ ). Correspondientemente al foco lineal arqueado, también las zonas locales, o bien de acción, discurren igualmente arqueadas. En el procedimiento según la invención, en el presente documento se suceden zonas locales, o bien de acción en dirección x positiva.

15 La Figura 5b muestra una segunda vista de sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un haz Airy en un segundo plano de sección transversal. El segundo plano de sección transversal es perpendicular al primer plano de sección transversal. A modo de ejemplo, este podría ser la superficie del hipotético elemento de sustrato (en forma de paralelepípedo) o un plano que discurre paralelamente al mismo dentro del elemento de sustrato. En el procedimiento según la invención, en el presente documento se suceden zonas locales/de acción en dirección x positiva. Los segundos planos de sección transversal representados en la Figura 5b podrían ser, a modo de ejemplo, un primer y/o segundo plano de sección transversal específico según la invención. Es concebible que tanto el primer como el segundo plano de sección transversal específico corresponda al segundo plano de sección transversal representado en la Figura 5b. A modo de ejemplo, podría requerirse que las zonas locales, o bien de acción, en el primer, o bien el segundo plano de sección transversal específico, es decir, en el segundo plano de sección transversal de la Figura 5b, presentaran una determinada distancia centro-centro entre sí.

20 El plano de sección transversal de la Figura 5b corta la línea focal del rayo láser en la zona alrededor del punto ( $x=0$ ;  $y=0$ ). En el intervalo de valores x positivos se pueden observar además los haces parciales laterales del rayo láser. Como se desprende adicionalmente de la Figura 5b, el haz Airy no presenta en esta componentes laterales hacia valores x negativos. En su lugar, la alimentación de haz se efectúa de manera asimétrica correspondientemente al procedimiento según la invención, es decir, en la situación de la Figura 5b solo desde partes del semiespacio con valores x positivos. De este modo, en el caso de un desplazamiento relativo del foco lineal en dirección del eje x positivo no se producen haces parciales en la zona de cavidades previas.

25 Como ya se ha mencionado, en relación con la alimentación de haz, o bien la alimentación de energía, en el presente documento, el concepto "asimétrico" se entiende en el sentido de "no simétrico rotacionalmente". Esto significa que no se excluyen otras simetrías. Por ejemplo, el haz Airy descrito ahora tiene un plano especular paralelo al plano x-z, como se desprende de la Figura 5b.

**Lista de signos de referencia**

- 45 1 Elemento de sustrato  
 3 Cuerpo de sustrato  
 5 Hueco  
 50 7 Foco  
 9 Haz parcial  
 55 101 Elemento de sustrato  
 103 Cuerpo de sustrato  
 105 Hueco  
 60 107 Foco  
 109 Haz parcial  
 65 201 Elemento de sustrato  
 203 Cuerpo de sustrato

	205	Foco
5	207	Borde
	209	Haz parcial
	301	Elemento de sustrato
10	303	Cuerpo de sustrato
	305	Foco
	307	Interferencias
15	309	Haz parcial

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la preparación y/o realización de la separación de un elemento de sustrato (101) en al menos dos elementos de sustrato a lo largo de un área de separación, que comprende los pasos:
- 5 - puesta a disposición del elemento de sustrato (101) que comprende al menos un cuerpo de sustrato (103) que presenta al menos un material de sustrato;
- control de al menos un foco lineal (107) dentro del cuerpo de sustrato (103), de tal manera que a lo largo del área de separación se elimine y/o se desplace material de sustrato del cuerpo de sustrato (103) al menos por zonas;
- 10 representando el foco lineal (107) al menos un foco de al menos un haz de luz;
- estando formado el haz de luz en forma de un haz de luz con alimentación de haz asimétrica el menos en la zona del foco lineal;
- alimentándose la energía asimétricamente en el caso de alimentación de haz asimétrica y estando configurada de tal manera que el centro de gravedad de la distribución de energía en al menos un plano se sitúe perpendicularmente al plano en el que se efectúa la propagación del haz, en la zona de material de sustrato no modificado previamente.
- 15
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el caso de alimentación de haz asimétrica
- (i) alimentándose la energía asimétricamente y estando configurada de tal manera que el centro de gravedad de la distribución de energía en al menos un plano se sitúe perpendicularmente al plano en el que se efectúa la propagación del haz, en la zona de material de sustrato no modificado previamente, es decir, en el lado opuesto a la cavidad previa;
- 20 (ii) incidiendo los haces parciales (109) del haz de luz solo desde una mitad del espacio o una parte del mismo;
- (iii) presentando el haz de luz un ángulo polar  $p$  de  $0^\circ < p < 90^\circ$  y/o encontrándose los haces parciales del haz de luz dentro de un intervalo de ángulos azimutales menores que  $180^\circ$ , preferentemente de entre  $85^\circ$  y  $100^\circ$ , en especial de entre  $90^\circ$  y  $95^\circ$ ;
- 25 (iv) incidiendo los haces parciales (109) del haz de luz solo desde direcciones que se seleccionan de modo que no se propaguen por zonas del cuerpo de sustrato (103) de las que se eliminó y/o desplazó ya material de sustrato y/o se compactó el material de sustrato;
- (v) presentando el haz de luz al menos un plano especular paralelo al plano en el que se efectúa la propagación de haz;
- 30 (vi) debiéndose entender el concepto "asimétrico" en el sentido de "no simétrico rotacionalmente", en especial no excluyéndose tampoco otras simetrías;
- y/o
- (vii) incidiendo los haces parciales (109) del haz de luz en cualquier plano paralelo a al menos una superficie del elemento de sustrato y/o en cualquier plano perpendicular al eje óptico del haz de luz solo desde uno o solo desde dos cuadrantes.
- 35
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el haz de luz al menos un rayo láser, estando formado el haz de luz como haz Airy o como haz Bessel al menos en la zona del foco lineal y/o enfocándose la energía láser a lo largo de la línea focal del foco lineal (107).
- 40
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el control del foco lineal (107) que el foco lineal (107) se forme sucesivamente de diferentes zonas locales del material de sustrato y de este modo el material sustrato se elimine y/o se desplace respectivamente de estas zonas locales, en especial que el material de sustrato se compacte en una parte del cuerpo de sustrato que rodea la respectiva zona local,
- 45 discurriendo preferentemente las zonas locales individuales, en especial en al menos un primer plano de sección transversal específico del elemento de sustrato (101) que discurre perpendicularmente al área de separación, perpendicularmente al eje óptico del haz de luz y/o paralelamente a al menos una primera superficie del elemento de sustrato (101), a lo largo de una trayectoria rectilínea.
- 50
5. Procedimiento según la reivindicación 4,
- seleccionándose el foco lineal y/o las zonas locales de modo que la máxima expansión de las zonas locales en el primer plano de sección transversal específico se sitúe entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $200 \mu\text{m}$ , preferentemente entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $100 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $50 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,3 \mu\text{m}$  y  $20 \mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre  $0,3 \mu\text{m}$  y  $10 \mu\text{m}$  y del modo más preferente  $0,7 \mu\text{m}$ .
- 55
6. Procedimiento según la reivindicación 4 o 5,
- presentando las zonas locales adyacentes respectivamente en el primer plano de sección transversal específico, en especial a lo largo de la trayectoria, una distancia centro-centro respectiva que se sitúa entre 1 y 500 veces, preferentemente entre 1 y 100 veces, de modo aún más preferente entre 1 y 50 veces, de modo aún más preferente entre 1 y 10 veces, de modo aún más preferente entre 1,1 y 5 veces la máxima expansión de zonas locales en el primer plano de sección transversal específico y/o entre  $0,1 \mu\text{m}$  y  $500 \mu\text{m}$ , preferentemente entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $400 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $200 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $100 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,2 \mu\text{m}$  y  $50 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $0,4 \mu\text{m}$  y  $20 \mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre  $1 \mu\text{m}$  y  $7 \mu\text{m}$ , y del modo más preferente entre  $1 \mu\text{m}$  y  $3 \mu\text{m}$ .
- 60
- 65

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo el control del foco lineal (107) que el foco lineal (107) se genere sucesivamente dentro de diferentes zonas de acción en el elemento de sustrato (101), en especial en el cuerpo de sustrato (103), y de este modo se elimine y/o se desplace el material de sustrato dispuesto dentro de estas zonas de acción respectivamente, en especial que el material de sustrato se compacte en una parte del cuerpo de sustrato que rodea la respectiva zona de acción, y seleccionándose la distancia de las zonas de acción individuales de modo que se superpongan al menos parcialmente zonas de acción al menos directamente adyacentes, de modo que se forme un corredor continuo exento de material de sustrato en el material de sustrato a lo largo del área de separación, discurrendo preferentemente las zonas de acción individuales, en especial en al menos un segundo plano de sección transversal específico del elemento de sustrato (101) que discurre perpendicularmente al área de separación, perpendicularmente al eje óptico del haz de luz y/o paralelamente a al menos una segunda superficie del elemento de sustrato (101), a lo largo de una trayectoria rectilínea.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, seleccionándose el foco lineal (107) y/o las zonas de acción de modo que la máxima expansión de las zonas de acción en el segundo plano de sección transversal específico se sitúe entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , y preferentemente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,2  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ , de modo aún más preferente entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,3  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  y del modo más preferente 0,7  $\mu\text{m}$ .
9. Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, presentando las zonas de acción adyacentes respectivamente en el segundo plano de sección transversal específico, en especial a lo largo de la trayectoria, una distancia centro-centro que corresponde entre 0,01 veces y 1,0 vez, preferentemente entre 0,01 veces y 0,5 veces la máxima expansión de zonas de acción en el segundo plano de sección transversal específico y/o se sitúe entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , aún más preferentemente entre 0,002  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ , del modo más preferente entre 0,005  $\mu\text{m}$  y 0,3  $\mu\text{m}$ .
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 a 9, discurrendo las zonas locales y/o las zonas de acción en el material de sustrato al menos parcialmente de forma tubular, cilíndrica y/o arqueada, en especial falcada en especial en al menos un plano de sección transversal, y/o extendiéndose preferentemente de la primera, o bien segunda superficie del cuerpo de sustrato (103) a la superficie del cuerpo de sustrato (103) opuesta a la superficie a través de todo el intervalo de grosores del cuerpo de sustrato (103) incluido entre ambas superficies.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el control del foco lineal (107) que el elemento de sustrato (101) se desplace relativamente a al menos un haz de luz (109) y/o foco lineal (107), mediante lo cual se puede formar preferentemente el foco lineal (107), en especial de manera sucesiva o continua, al menos en las diferentes zonas locales y/o de acción.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, presentando el haz o los haces de luz (109) (i) una longitud de onda de entre 300 nm y 1500 nm, en especial 343 nm, 355 nm, 515 nm, 532 nm, 1030 nm o 1064 nm, (ii) presentando una longitud de onda de la zona de transparencia del material de sustrato y/o (iii) emitiéndose por al menos un láser pulsado, en especial un láser pulsado ultracorto, con una duración de pulso de entre 200 fs y 50 ps, preferentemente de entre 500 fs y 10 ps, una frecuencia de pulso en la ráfaga de entre 1 y 10, preferentemente 4, una tasa de repetición de entre 1 kHz y 4 GHz, preferentemente 40 MHz, y/o una energía de pulso de entre 80  $\mu\text{J}/\text{mm}$  y 300  $\mu\text{J}/\text{mm}$ , preferentemente 100-230  $\mu\text{J}/\text{mm}$ , en especial 180  $\mu\text{J}/\text{mm}$ .
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, estando rodeado el elemento de sustrato (101) al menos parcialmente y/o por zonas de al menos un fluido y/o estando dispuesto dentro de un fluido al menos parcialmente y/o por zonas al menos mientras el material de sustrato se elimina y/o se desplaza, de modo que el fluido pueda entrar en el punto de material de sustrato eliminado, o bien desplazado, comprendiendo preferentemente el haz de luz (109) al menos una longitud de onda y presentando el fluido para la longitud de onda del haz de luz (109) un índice de refracción que difiere como máximo 30 % del índice de refracción del cuerpo de sustrato (103) y/o un índice de refracción de entre 1,2 y 2,5; en especial comprendiendo el fluido un líquido, presentando un índice de refracción que difiere como máximo 20 %, 10 %, 7 %, 5 %, 3 % o 1 % del índice de refracción del cuerpo de sustrato (103) y/o presentando un índice de refracción de entre 1,2 y 2,1, preferentemente de entre 1,3 y 1,6.
14. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo o representando  
 (i) el elemento de sustrato un elemento de vidrio, un elemento vitrocerámico, un elemento de silicio y/o un elemento de zafiro, y/o estando formado al menos por zonas en forma de una placa y/o una oblea, en especial de una oblea de silicio;  
 (ii) comprendiendo o representando el cuerpo de sustrato un cuerpo de vidrio, un cuerpo vitrocerámico, un cuerpo de silicio y/o un cuerpo de zafiro;  
 y/o

(iii) comprendiendo o representando el material de sustrato vidrio, vitrocerámica, silicio y/o zafiro.

15. Elemento parcial de sustrato, en especial producido y/o producible con un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14,

5 que comprende al menos un cuerpo (103) que presenta al menos un material de vidrio, un material vitrocerámico y/o silicio, que presenta al menos un área lateral, presentando el área lateral una superficie modulada en altura al menos por zonas; presentando el área lateral una rugosidad superficial al menos por zonas y siendo la variación de la superficie a consecuencia de la rugosidad superficial entre 1 y 5 órdenes de magnitud menor que la variación de la superficie a consecuencia de la modulación de altura, preferentemente

(a) representando la modulación de altura de la superficie una superficie ondulada y/o situándose la variación de la superficie debida a la modulación de altura dentro de un intervalo de valores predeterminable, en especial dentro de un intervalo de valores de 0,5  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ , preferentemente dentro de un intervalo de valores de 0,5  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ ;

15 (b) (i) presentando el área lateral al menos por zonas una profundidad de rugosidad, preferentemente media, de entre 0,01  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ , preferentemente de entre 0,05  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , del modo más preferente de entre 0,05  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ , RZ, (ii) siendo la rugosidad superficial una rugosidad superficial media, (iii) siendo la variación de la superficie a consecuencia de la profundidad de rugosidad entre 1 y 5, preferentemente 2 o 3 órdenes de magnitud menor que la variación de superficie a consecuencia de la modulación de altura y/o (iv) siendo la variación de la superficie a consecuencia de la rugosidad superficial 2 o 3 órdenes de magnitud menor que la variación de la superficie a consecuencia de la modulación de altura;

20 (c) estando pretensada el área lateral al menos por zonas y/o siendo la resistencia de bordes del elemento parcial de sustrato, en especial del cuerpo (103), a lo largo del área lateral, mayor que 100 MPa, preferentemente mayor que 150 MPa, y/o variable y/o constante en toda el área lateral;

25 y/o

(d) siendo el área lateral, en especial a una escala macroscópica, plana y/o abovedada, en especial preferentemente en al menos un plano de sección transversal perpendicular al área lateral, al menos por secciones, presentando un curso parabólico y/o circular y/o un curso según una ecuación de cuarto grado.

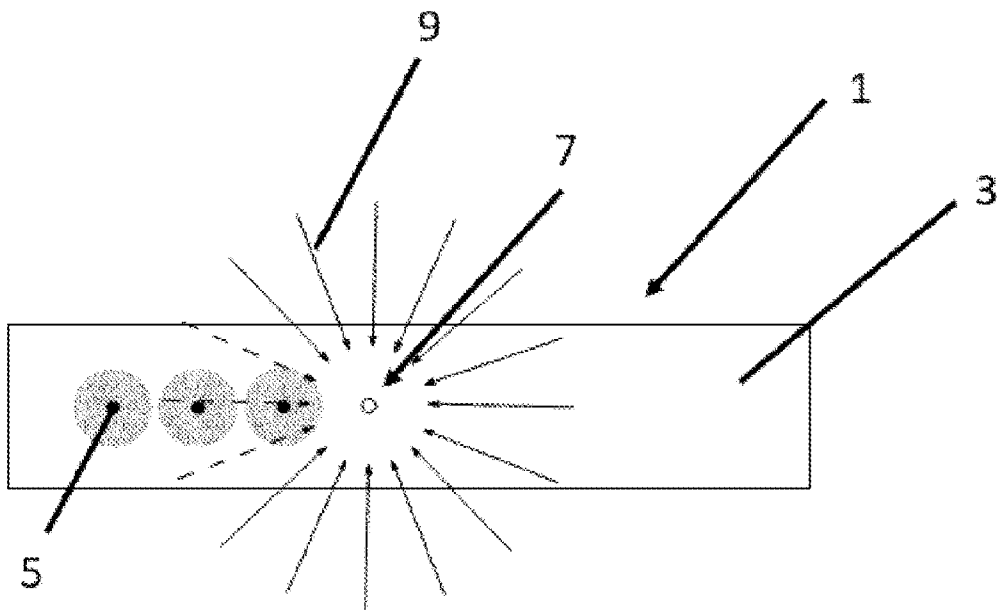


Fig. 1a  
(Estado de la técnica)

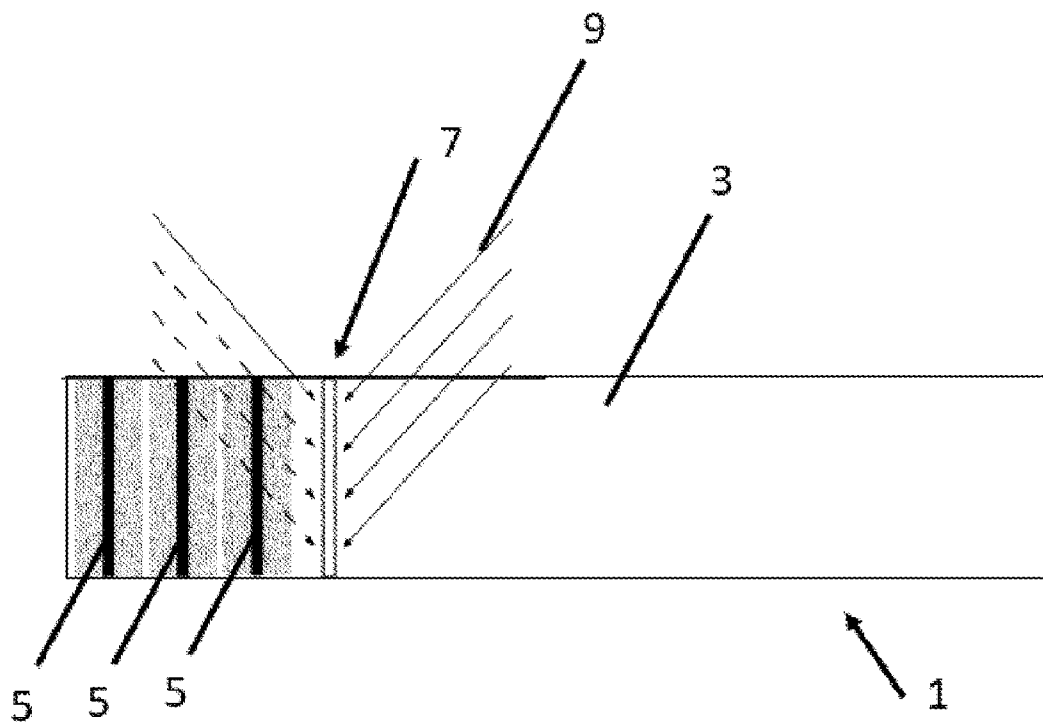


Fig. 1b  
(Estado de la técnica)

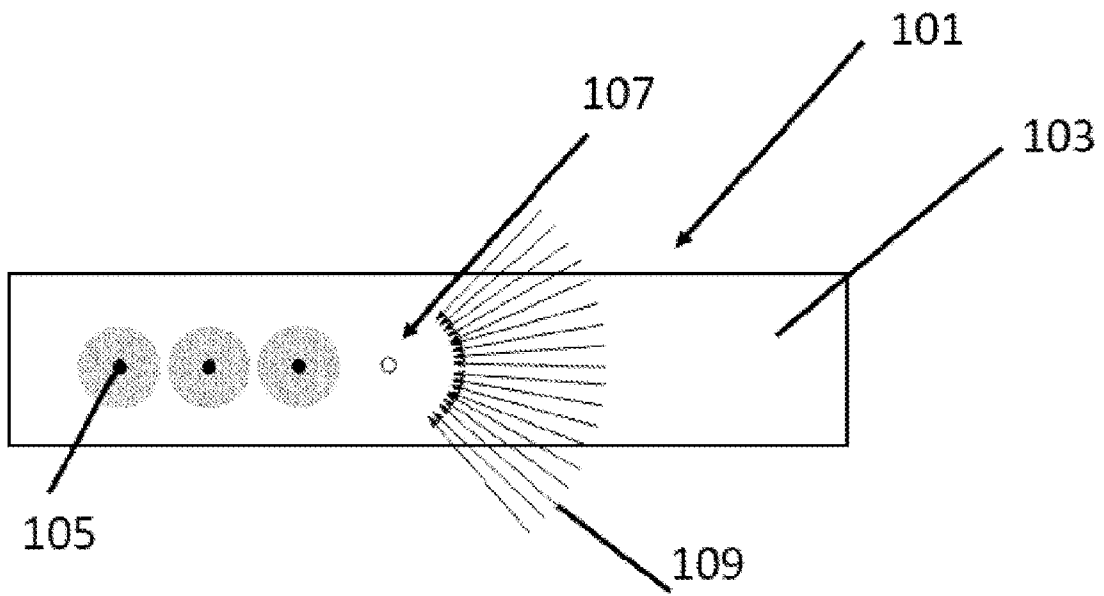


Fig. 2a

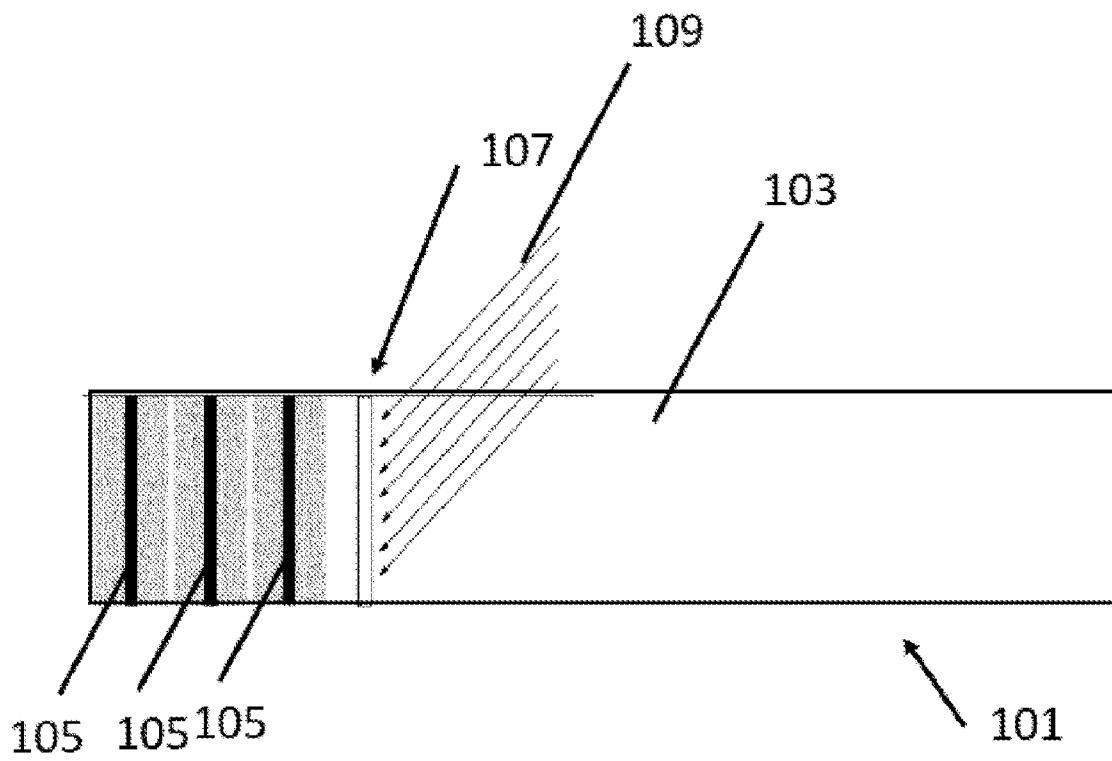


Fig. 2b

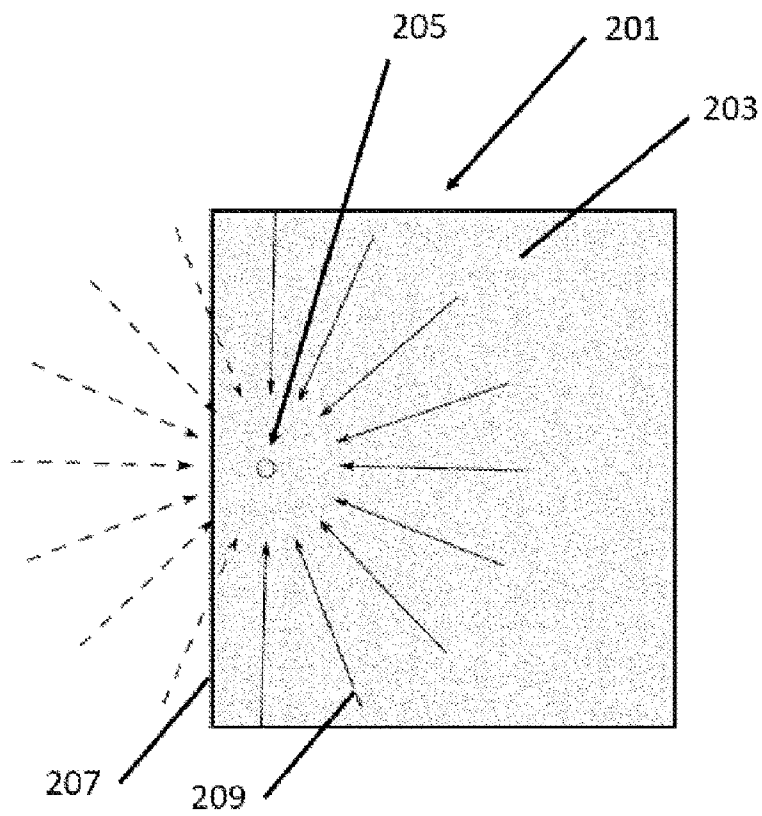


Fig. 3a

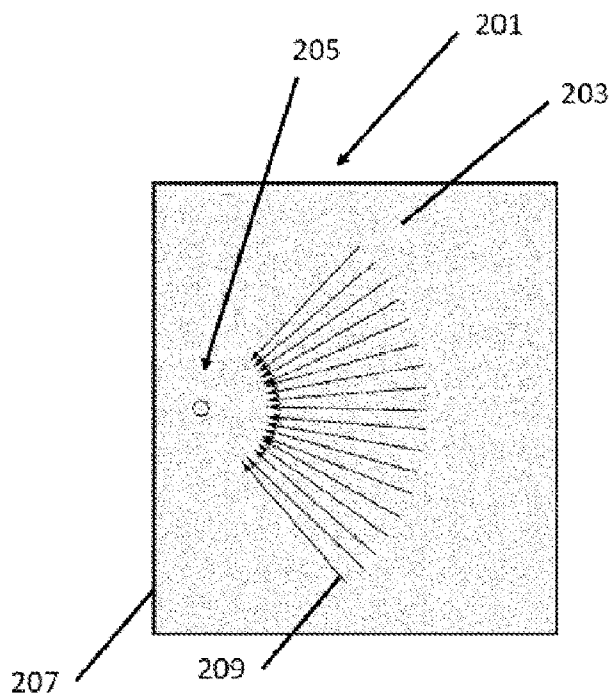


Fig. 3b

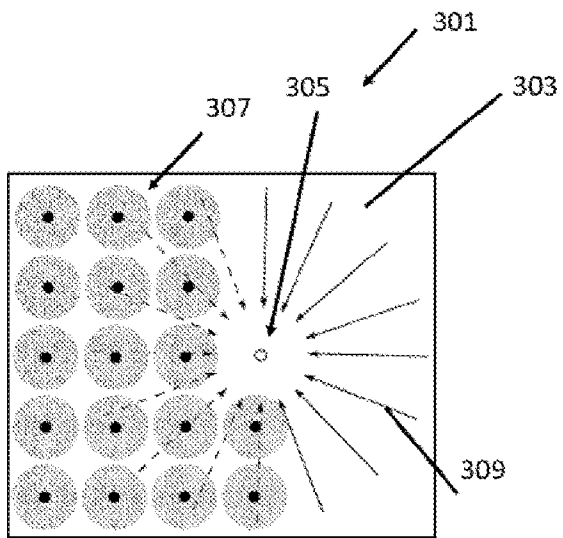


Fig. 4a

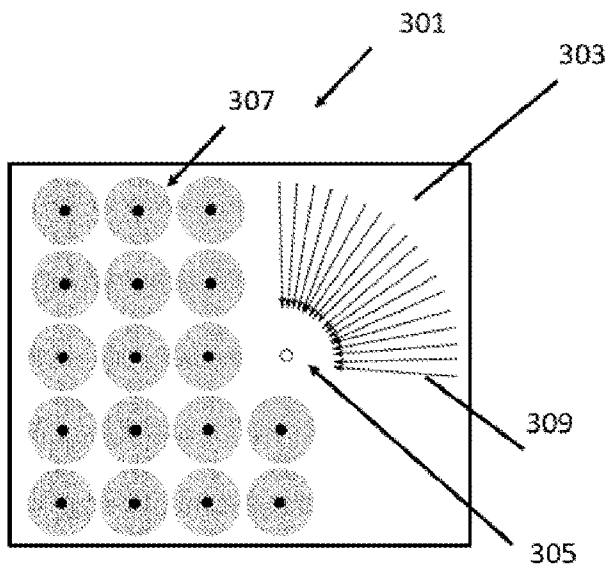


Fig. 4b

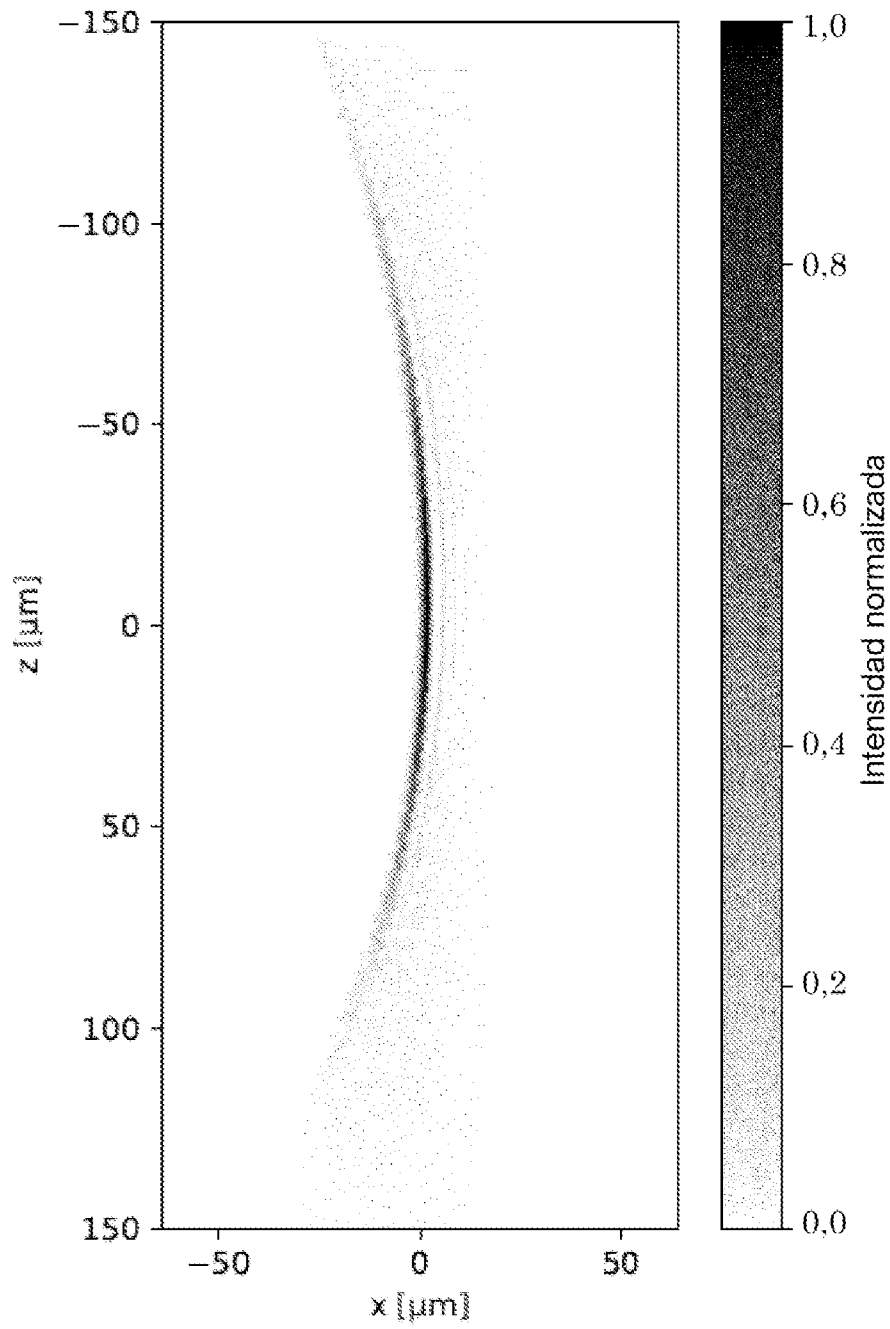


Fig. 5a

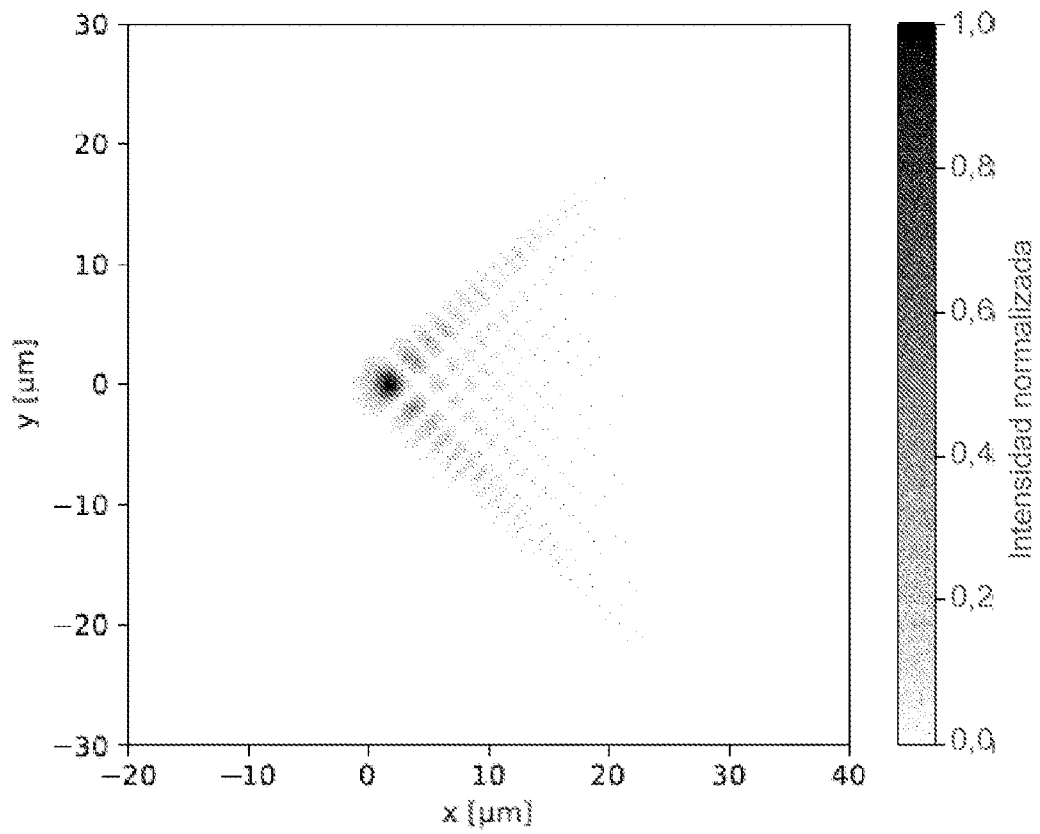


Fig. 5b