

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 774 377**

51 Int. Cl.:

B23K 26/00 (2014.01)

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/073 (2006.01)

B23K 26/0622 (2014.01)

B23K 101/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2015 PCT/EP2015/065476**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16008768**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2015 E 15739207 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 3169475**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de mecanización basada en láser de sustratos cristalinos planos, especialmente sustratos semiconductores**

30 Prioridad:

15.07.2014 DE 102014213775

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

20.07.2020

73 Titular/es:

INNOLAS SOLUTIONS GMBH (100.0%)

Pionierstr.6

82152 Krailling, DE

72 Inventor/es:

BÖHME, RICO y

WEBER, DANIEL

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 774 377 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 y dispositivo de mecanización basada en láser de sustratos cristalinos planos, especialmente sustratos semiconductores

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes, y a un dispositivo correspondiente y al uso de este procedimiento o este dispositivo. El objetivo reside aquí especialmente en dividir sustratos planos de forma de pastillas semiconductoras en varias partes (individualización de las pastillas). En este caso, se trabaja con láseres generalmente pulsados con una longitud de onda para la cual son sustancialmente transparentes los materiales del sustrato.

10 Se conocen ya por el estado de la técnica dispositivos y procedimientos de seccionamiento de tales materiales por medio de un láser.

15 Según el documento DE 10 2011 000 768 A1, se pueden emplear láseres que, gracias a su longitud de onda o su potencia, sean fuertemente absorbidos por el material o que, después de una primera interacción, hagan que el material sea fuertemente absorbente (calentamiento con, por ejemplo, generación de portadores de carga; absorción inducida), y luego puedan ablacionar el material. Este método tiene desventajas en muchos materiales: por ejemplo, impurificaciones por formación de partículas durante la ablación; los cantos de corte pueden presentar microfisuras debido a la aportación térmica; los cantos de corte pueden presentar bordes fundidos; la rendija de corte no es uniforme en todo el espesor del material (tiene una anchura diferente a una profundidad diferente; por ejemplo, entalladura de corte cuneiforme). Dado que el material tiene que evaporarse o licuarse, se debe proporcionar una alta potencia media del láser.

20 El documento US 6 472 295 B1 muestra un procedimiento y un dispositivo de corte con láser de un material diana. El procedimiento comprende los pasos de generar impulsos de láser provenientes de un sistema láser y aplicar los impulsos de láser al material diana de modo que estos impulsos de láser corten a través del material. Los impulsos de láser generan una mancha aproximadamente elíptica, tienen un impulso temporal inferior a aproximadamente 100 nanosegundos y tienen una densidad de energía de aproximadamente 2 a aproximadamente 20 veces la energía umbral de erosión del material diana.

25 Además, el documento US 2013/327389 A1 describe un dispositivo según el preámbulo de las reivindicaciones 12-14 y un procedimiento según el preámbulo de las reivindicaciones 1-3, comprendiendo una estructura estratificada para un dispositivo fotovoltaico. La estructura estratificada comprende un electrodo, un absorbedor de luz, que comprende una capa de material semiconductor de calcopirita, tal como, por ejemplo, diseleniuro de cobre-indio-galio, dispuesta sobre el electrodo, y un electrodo transparente.

30 El documento US 2013/119031 A1 describe un procedimiento para generar una capa de material sobre un sustrato sin que se produzcan fisuras en la capa de material. Se utiliza para ello luz láser pulsada.

35 El documento US 2002/050489 A1 describe: En un procedimiento de mecanización por rayo láser se utiliza un líquido a través del cual puede transmitirse un rayo láser. El rayo láser es conducido hacia la superficie diana a través del líquido.

Asimismo, existen procedimientos en los que se emplea un láser en cuya longitud de onda es ampliamente transparente el material, con lo que puede generarse un punto focal en el interior del material. La intensidad del láser tiene que ser tan alta que en este punto foca interior del material del sustrato irradiado no se produzca un daño interior.

40 Los procedimientos últimamente citados adolecen del inconveniente de que la formación de fisuras inducida tiene lugar de manera puntiforme a una profundidad determinada o en la superficie, y así el espesor completo del material es seccionado únicamente por efecto de una propagación adicional mecánica y/o térmicamente inducida de las fisuras. Dado que las fisuras tienen tendencia a propagarse de manera no uniforme, la superficie de división es generalmente de una elevada rugosidad y tiene que remecanizarse frecuentemente. Además, se tiene que aplicar el mismo proceso varias veces a profundidades diferentes. Esto a su vez aumenta la velocidad del proceso en el valor múltiplo correspondiente.

45 Por tanto, partiendo del estado de la técnica, el problema de la presente invención consiste en proporcionar un procedimiento (y un dispositivo correspondiente) con el cual se puedan mecanizar, en particular seccionar completamente, sustratos cristalinos planos constituidos especialmente por materiales semiconductores, sin formación de partículas, sin bordes fundidos, con una formación mínima de fisuras en el borde, sin rendijas de corte apreciables (es decir, sin pérdidas de material), con cantos de corte lo más rectos posibles y con una alta velocidad del proceso.

50 Este problema se resuelve con un procedimiento según las reivindicaciones 1 a 3 independientes y con un dispositivo según las reivindicaciones 12, 13 y 14 independientes. Variantes de realización y/o perfeccionamientos ventajosos del procedimiento y del dispositivo se pueden deducir de las respectivas reivindicaciones subordinadas. En la reivindicación 15 se describen usos esenciales según la invención.

A continuación, se describe primeramente el fundamento de la presente invención (mecanismo de división del sustrato en partes individuales según la invención).

5 El procedimiento de división según la invención genera por cada impulso de láser una superficie focal del rayo láser (a diferencia de un punto focal) por medio de una óptica de láser adecuada para ello (denominada seguidamente también disposición óptica). La superficie focal determina el área de interacción entre el láser y el material de sustrato. Si la superficie focal cae dentro del material a dividir, se pueden elegir los parámetros del láser de modo que tenga lugar una interacción con el material que, según la invención, genere áreas de fisuras a lo largo de la superficie focal (es decir, distribuidas por toda esta superficie). Parámetros importantes del láser son aquí la longitud de onda del láser y la duración de impulso del mismo.

10 Para la interacción de la luz láser con el material según la invención se deberán dar preferiblemente las circunstancias siguientes:

1) La longitud de onda del láser se elige preferiblemente de modo que el material sea sustancialmente transparente a esta longitud de onda (por ejemplo, concretamente: absorción $\ll 10\%$ por mm de profundidad del material $\Rightarrow \gamma \ll 1/\text{cm}$; γ : coeficiente de absorción de Lambert-Beer).

15 2) La duración de impulso del láser se elige preferiblemente de modo que dentro del tiempo de interacción no pueda tener lugar un transporte importante de calor (difusión de calor) hacia fuera del área de interacción (por ejemplo, concretamente: $\tau \ll F/\alpha$, F: tamaño de la superficie focal del rayo láser, τ duración de impulso del láser, α : constante de difusión de calor del material).

20 3) La energía de impulso del láser se elige preferiblemente de modo que la intensidad en el área de interacción, es decir, en la superficie focal, genere una absorción inducida que conduzca a un calentamiento local del material en toda la superficie focal que a su vez conduzca a la formación de fisuras en la superficie focal a consecuencia del esfuerzo térmico introducido en el material.

25 4) Además, la intensidad deberá elegirse en función de la duración de impulso, la energía de impulso y la extensión o tamaño de la superficie focal del rayo láser de modo que no se produzca ninguna ablación o fusión, sino que solamente se produzcan formaciones de fisuras en la estructura del cuerpo sólido. Este requisito es muy fácil de cumplir para materiales típicos, como semiconductores o cristales transparentes, con láseres pulsados en el dominio de subnanosegundos, es decir, especialmente con duraciones de impulso de, por ejemplo, entre 10 y 100 ps.

A continuación, se describe la generación de la geometría de una superficie de separación deseada (movimiento relativo entre el rayo láser y el sustrato a lo largo de una línea sobre la superficie del sustrato).

30 La interacción según la invención con el material genera por cada impulso de láser en el material de una superficie focal una zona individual áreas de fisuras (visto en dirección perpendicular a la superficie del sustrato y en la dirección de avance del rayo láser). Para el seccionamiento completo del material se colocan una secuencia de tales zonas de áreas de fisuras por cada impulso de láser tan estrechamente juntas una a otra a lo largo de la línea de división deseada que resulte una unión lateral de las zonas de áreas de fisuras para formar una superficie de fisuras/contorno deseado en el material. Se pulsa para ello el láser con una frecuencia consecutiva determinada.

Para generar la superficie de división deseada en el material se puede mover la luz láser pulsada sobre el material estacionario con una disposición óptica móvil paralelamente al plano del sustrato (y , en su caso, también perpendicularmente a éste) o bien se mueve el propio material con un alojamiento móvil por delante de la disposición óptica estacionario de modo que se conforme la línea de división deseada.

40 Por último, se efectúa el último paso de división del sustrato en las varias partes (separación o individualización en sentido más estricto).

45 La separación del material a lo largo de la superficie de fisura/contorno generada se efectúa por efecto de la tensión propia del material o por efecto de fuerzas aportadas, por ejemplo por vía mecánica (tracción) o térmica (calentamiento/enfriamiento no uniforme). Dado que, según la invención, no se ablaiona ningún material, no existe en general de momento ninguna rendija continua en el material, sino solamente una superficie de rotura altamente alterada (microfisuras) que está en sí dentada y que, en ciertas circunstancias, está aún unida por puentes. Gracias a las fuerzas seguidamente introducidas se cortan los puentes remanentes por efecto del crecimiento lateral de las figuras (desarrollado paralelamente al plano del sustrato) y se supera el engrane dentado, con lo que se puede separar el material a lo largo de la superficie de división.

50 A continuación, se describen las características esenciales de un procedimiento según la invención y de un dispositivo según la invención con ayuda de las reivindicaciones.

Las reivindicaciones 1 a 3 describen las características esenciales de los procedimientos según la invención y las reivindicaciones 12, 13 y 14 describen los componentes esenciales de dispositivos concebidos para poner en práctica los procedimientos según la invención.

La superficie focal de rayo láser descrita en las reivindicaciones anteriormente citadas y generada por medio de las disposiciones ópticas se denomina también alternativamente de manera simplificada, en lo que antecede y en lo que sigue, superficie focal del rayo láser. Según la invención, el sustrato es dividido o individualizado en las varias partes por la formación de fisuras según la invención (absorción inducida en toda la superficie focal extendida perpendicularmente al plano del sustrato hacia dentro de éste), visto en el plano del sustrato. Por tanto, la formación de fisuras según la invención se efectúa perpendicularmente al plano del sustrato hacia dentro de éste o hacia dentro del interior del sustrato. Como ya se ha descrito, se pueden producir en general en el sustrato, a lo largo de una línea sobre la superficie de éste, una multiplicidad de secciones individuales de superficie focal del rayo láser para que las distintas partes del sustrato puedan separarse una de otra. A este fin, se puede trasladar el sustrato paralelamente al plano del mismo con relación al rayo láser o a la disposición óptica o, recíprocamente, se puede mover la disposición óptica paralelamente al plano del sustrato con relación al sustrato dispuesto en posición estacionaria.

Ventajosamente, se materializan adicionalmente según la invención las características de al menos una de las reivindicaciones de procedimiento o dispositivo subordinadas. En este caso, se pueden materializar también las características de varias reivindicaciones subordinadas en cualquier combinación.

Bajo el término de superficie (es decir, superficie focal de rayo láser) se entiende en sentido matemático una estructura de extensión finita en dos dimensiones. La extensión de la superficie focal del rayo láser en las dos dimensiones citadas puede definirse (aproximadamente) por la anchura completa a la mitad del valor máximo (en inglés: "full width at half maximum"). Según la invención, la extensión de la superficie focal del rayo láser en dirección perpendicular a las dos dimensiones citadas es muchísimo más pequeña que en las dos dimensiones citadas, preferiblemente al menos 10 veces, 50 veces, 100 veces o incluso 500 veces menor. La expresión "a lo largo de la sección de superficie" significa aquí lo mismo que "visto sobre toda la superficie de esta sección". Por absorción inducida se entiende un proceso que conduce a la formación de alteraciones microestructurales en la estructura cristalina del sustrato. Las alteraciones microestructurales definen entonces partes de una superficie de rotura nominal a lo largo de las cuales o a través de las cuales se produce la división del sustrato en las varias partes. En este caso, se supone (sin limitación de la generalidad) que, debido a la absorción local de energía en la zona de la superficie focal del rayo láser, se produce una amorfización a través de la cual se extiende el material del sustrato. Las extensiones conducen a tensiones de compresión, con lo que se presentan localmente fisuras en o sobre la sección de superficie extendida de absorción inducida.

Características ventajosamente materializables pueden deducirse de la reivindicación 4 subordinada: El sustrato semiconductor puede ser especialmente un sustrato de 4-6 o 3-5 semiconductores, preferiblemente un sustrato de GaAs, o un sustrato semiconductor elemental, preferiblemente un sustrato de Si. El sustrato aislante puede ser especialmente un óxido, preferiblemente Al_2O_3 (zafiro) o SiO_2 (cuarzo), o un fluoruro, preferiblemente CaF_2 o MgF_2 , o un cloruro, preferiblemente NaCl, o un nitruro, preferiblemente Si_3N_4 o BN. El sustrato, que contiene o está constituido por al menos un material basado en carbono con ordenación fundamental cristalina o cuasicristalina, puede especialmente contener nanotubos de carbono o estar constituido por éstos.

La extensión de la superficie focal del rayo láser en la respectiva dirección del espacio puede venir definida aquí por el trayecto a lo largo del cual la intensidad en el rayo láser es al menos la mitad de grande que la intensidad máxima alcanzada en el rayo láser. La extensión de la superficie focal del rayo láser en la dirección del rayo, denominada seguidamente longitud l , puede concebirse como al menos 10 veces mayor que la extensión D de la superficie focal del rayo láser en la segunda dirección. La longitud de la superficie focal del rayo láser en la dirección del rayo puede diseñarse preferiblemente como al menos 20 veces, preferiblemente al menos 50 veces, preferiblemente al menos 100 veces, preferiblemente al menos 500 veces mayor que la extensión D de la superficie focal del rayo láser en la segunda dirección. La anchura de la superficie focal del rayo láser en la primera dirección puede diseñarse preferiblemente como al menos 10 veces, preferiblemente al menos 50 veces, preferiblemente al menos 100 veces mayor que la extensión D de la superficie focal del rayo láser en la segunda dirección.

Si se materializa un procedimiento según la reivindicación 5, la sección de superficie extendida de absorción inducida en el interior del sustrato se extiende desde una superficie del sustrato hasta una profundidad definida del sustrato (o bien más allá de ésta). La sección extendida de absorción inducida puede abarcar entonces toda la profundidad del sustrato desde una superficie hasta la otra. Es posible también generar únicamente en el interior del sustrato (sin que estén abarcadas también las superficies del sustrato) unas secciones alargadas de absorción inducida.

Otras características ventajosamente materializables pueden deducirse de la reivindicación 6 (véase también la figura 3 descrita más adelante). El sustrato puede posicionarse con relación a la superficie focal del rayo láser de modo que, visto en la dirección del rayo, la sección de superficie extendida de absorción inducida en el material, es decir, en el interior del sustrato, se extienda desde una de las dos superficies opuestas del sustrato hasta la otra de las dos superficies opuestas del sustrato, es decir que se extienda por todo el espesor de capa d del sustrato. Visto en la dirección del rayo, la sección de superficie extendida de absorción reducida en el material, es decir, en el interior del sustrato, puede extenderse desde una de las dos superficies opuestas del sustrato hacia dentro del mismo a lo largo de 80% a 98%, preferiblemente a lo largo de 85% a 95%, de manera especialmente preferida a lo largo de 90% de todo el espesor de capa d . La sección de superficie extendida de absorción inducida (es decir, por

ejemplo, longitudes de fisuras producidas perpendicularmente al plano del sustrato) puede extenderse así tanto desde una profundidad determinada en el interior del sustrato hasta la superficie trasera del sustrato o bien puede extenderse, por ejemplo, desde la superficie delantera del sustrato hasta una profundidad determinada en el interior del sustrato. El espesor de capa d se mide siempre perpendicularmente a las dos superficies opuestas del sustrato plano.

Los límites de intervalo citados incluyen siempre los valores límite superior e inferior indicados.

Según la invención, la absorción inducida se genera ventajosamente de acuerdo con la reivindicación 7. Esto tiene lugar por medio del ajuste de los parámetros del láser ya descritos, explicado seguidamente en el marco de ejemplos y mencionados también en las reivindicaciones 8 y 9 subordinadas, los parámetros de la disposición óptica y los parámetros geométricos de la disposición de los distintos elementos del dispositivo según la invención. En principio, es posible cualquier combinación de características de parámetros como las que se citan en las reivindicaciones 8 y 9. En este caso (véase también lo que sigue), $\tau \ll F/\alpha$ significa que τ es menor que 1%, preferiblemente menor que 1‰ de F/α (siendo F la extensión de la superficie focal del rayo láser). Por ejemplo, la duración de impulso τ puede ser de 10 ps (o bien de un valor más bajo), estar entre 10 y 100 ps o ser también de más de 100 ps. Para la división de sustratos de Si se utiliza preferiblemente un láser de Er:YAG con una longitud de onda comprendida entre 1,5 y 1,8 μm . En general, para sustratos semiconductores se utiliza preferiblemente un láser con una longitud de onda que se elige de modo que la energía fotónica sea menor que el hueco de banda del semiconductor.

Se prefiere lo siguiente: La longitud l de la superficie focal del rayo láser puede estar comprendida entre 0,5 mm y 2 mm y/o la anchura b de la superficie focal del rayo láser puede estar comprendida entre 0,05 mm y 0,2 mm y/o el espesor de capa d del sustrato, medido perpendicularmente a las dos superficies opuestas del sustrato, puede estar comprendido entre 100 μm y 500 μm y/o la relación $V1 = l/d$ de la longitud l de la superficie focal del rayo láser y el espesor de capa d del sustrato puede estar comprendida entre 5 y 2 y/o la extensión D de la superficie focal del rayo láser en la segunda dirección puede estar comprendida entre 5 μm y 25 μm .

La duración de impulso τ del láser puede elegirse de modo que dentro del tiempo de interacción con el material del sustrato (1) sea despreciable la difusión de calor en este material, no teniendo lugar preferiblemente ninguna difusión de calor, a cuyo fin se ajustan preferiblemente τ , F como extensión de la superficie focal del rayo láser y la constante de difusión de calor α del material del sustrato según $\tau \ll F/\alpha$ y/o se elige preferiblemente τ como inferior a 10 ns, preferiblemente inferior a 100 ps. La frecuencia de repetición de impulsos del láser puede ser de 100 kHz. La potencia media del láser puede estar comprendida entre 15 vatios y 30 vatios. El láser, especialmente para cristales transparentes utilizados como sustratos en el dominio de longitudes de ondas visibles, puede ser un láser de Nd:YAG con una longitud de onda λ de 1064 nm o un láser de Y:YAG con una longitud de onda λ de 1030 nm. O bien el láser, especialmente para sustratos semiconductores transparentes en el dominio de longitudes de ondas infrarrojas, puede ser un láser de Er:YAG con una longitud de onda λ comprendida entre 1,5 μm y 2,1 μm .

La longitud de onda λ del láser puede elegirse de modo que el material del sustrato sea transparente o sustancialmente transparente para esta longitud de onda, entendiéndose por esto último que la disminución de intensidad del rayo láser producida a lo largo de la dirección del rayo en el material del sustrato sea de un 10% o menos por milímetro de profundidad de penetración.

Los pasos adicionales del procedimiento eventualmente necesarios todavía para la separación definitiva o para la individualización del sustrato en sus varias partes se describen en las reivindicaciones 10 y 11 subordinadas.

El rayo láser puede moverse con relación a la superficie del sustrato a lo largo de una línea paralela a la primera dirección, a lo largo de la cual se puede seccionar el sustrato para obtener varias partes, generándose a lo largo de esta línea una multiplicidad de secciones de superficie extendidas de absorción inducida en el interior del sustrato. Preferiblemente, la relación $V2 = A/b$ de la distancia media A de secciones de superficies extendidas de absorción inducida directamente contiguas, es decir, generadas directamente una después de otra, y la anchura b de la superficie focal del rayo láser en la primera dirección está comprendida entre 1,0 y 1,3, preferiblemente entre 1,0 y 1,1.

Como ya se ha mencionado, el sustrato se mueve con relación a la disposición óptica (junto con el láser) o bien la disposición óptica (junto con el láser) se mueve con relación al sustrato. Por distancia A no se entiende aquí la distancia entre las dos limitaciones directamente opuestas (en la dirección z del rayo, es decir, visto hacia dentro del sustrato) de dos secciones de superficie de absorción inducida directamente contiguas (es decir, generada por impulso de láser temporalmente consecutivo), sino la distancia entre una misma limitación (por ejemplo la limitación delantera, visto en la dirección de movimiento de láser a lo largo de la línea de división deseada) de dos secciones de superficie directamente contiguas de absorción inducida. Por tanto, el objetivo consiste en yuxtaponer en lo posible sin solapamiento de las distintas absorciones inducidas generadas en el interior del sustrato (en caso contrario resultarían, debido a intensidades absorbidas aproximadamente dobles en la zona de solapamiento, diferencias demasiado grande en las alteraciones microestructurales de la estructura cristalina a lo largo de la línea de división deseada) y con huecos lo más pequeños posible unas secciones de superficie contiguas intercaladas de absorción inducida a lo largo de la línea de división deseada. La formación de fisura comentada en la reivindicación

14 ha de entenderse aquí (en contraste con la formación de fisuras inducidas esencial según la invención) como una fisura transversal, es decir, como una formación de fisura lateral en una dirección situada en el plano del sustrato (correspondiente al recorrido de la línea a lo largo de la cual se debe dividir el sustrato).

5 Ejecuciones ventajosas de dispositivos de la invención según las reivindicaciones 12 a 14 (que describen diferentes formas de realización posibles de la disposición óptica para generar y posicionar la superficie focal del rayo láser) son como sigue (véanse a este respecto también los ejemplos de realización siguientes o las figuras 4 a 7).

Un dispositivo según la invención puede comprender tanto la disposición óptica como el sustrato que debe posicionarse con relación a ella.

10 En lugar de un diafragma se puede emplear una apertura o el diafragma puede estar configurado como una apertura. Es posible también que en lugar del diafragma se emplee un elemento difractivo (con intensidades de canto definidas) o bien que se conforme el diafragma como un elemento difractivo (con intensidades de canto definidas). Además de diafragmas normales, se pueden combinar también formadores de rayos difractivos para generar un foco lineal con el axicón.)

15 Según la reivindicación 14, la desviación de los dos haces de rayos significa que estos dos haces de rayos, vistos por separado, pueden desviarse paralelamente y, vistos como un todo, se guían uno hacia otro.

20 Usos esenciales según la invención pueden deducirse de la reivindicación 15: División de un sustrato semiconductor, especialmente un sustrato de 4-6 o 3-5 semiconductores, preferiblemente un sustrato de GaAs, o un sustrato semiconductor elemental, preferiblemente un sustrato de Si, división de un sustrato aislante, especialmente un óxido, preferiblemente Al_2O_3 (zafiro) o SiO_2 (cuarzo), o un fluoruro, preferiblemente CaF_2 o MgF_2 , o un cloruro, preferiblemente NaCl, o un nitruro, preferiblemente Si_3N_4 o BN, o división de un sustrato que contiene o está constituido por al menos un material basado en carbono con ordenación fundamental cristalina o cuasicristalina, especialmente que contiene nanotubos de carbono o está constituido por éstos..

En comparación con los procedimientos y dispositivos conocidos por el estado de la técnica, la presente invención ofrece una serie de ventajas esenciales.

25 En primer lugar, según la invención, la formación del corte se efectúa sin formación de partículas, sin bordes fundidos, con mínima formación de fisuras en el borde, sin una rendija de corte apreciable (por tanto, sin pérdida de material del sustrato) y con cantos de corte rectos.

30 Según la invención, no es necesaria una potencia media muy alta del láser, pero, a pesar de ello se pueden lograr velocidades de división relativamente altas. Es esencial a este respecto que la superficie genere por cada impulso de láser (o por cada ráfaga de impulsos) una superficie focal del rayo láser (y no únicamente un punto focal no extendido o solo muy localmente extendido). Se utilizan para ello las ópticas de láser presentadas con detalle en lo que sigue. La superficie focal determina así el área de interacción entre el láser y el sustrato. Si la superficie focal cae al menos seccionalmente (visto en la dirección de la profundidad) dentro del material del sustrato que se debe dividir, se pueden elegir los parámetros del láser de modo que tenga lugar una interacción con el material que genere áreas de fisuras a lo largo de toda la profundidad de la superficie focal y en toda la anchura de la superficie focal. Parámetros de láser seleccionables son, por ejemplo, la longitud de onda del láser, la duración de impulso del láser o la energía pulsatoria del láser.

35 Otras ventajas que presenta el procedimiento según la invención frente a, por ejemplo, el rayado y rotura mecánicos son, aparte de la formación de partículas inexistente (o al menos mínima), que, en contraste con una línea de rayado mecánico, se puede lograr una alta relación de aspecto (relación de la extensión de la superficie focal del rayo láser en la dirección de la profundidad con respecto a la extensión en la segunda dirección. Mientras que en el rayado y rotura mecánicos la línea de rotura se genera hacia dentro del material por medio de un crecimiento ampliamente incontrolable de las fisuras, se puede efectuar según la invención una división bajo un ángulo muy exactamente ajustable con la normal al sustrato. Según la invención, son posibles también cortes oblicuos sin mayores dificultades.

40 Es posible también una alta velocidad de mecanización incluso en sustratos gruesos.

50 Se evitan una ablación en la superficie, formaciones de rebabas en la superficie y formaciones de partículas (esto último especialmente cuando se ajusta la posición de la superficie focal con relación al sustrato de modo que el procedimiento según la invención proporcione desde la superficie del sustrato, yendo hacia el interior de este sustrato, la absorción inducida extendida según la invención y las formaciones de fisuras). Por tanto, en este caso, el primer daño (intencionado) tiene lugar directamente en la superficie y se continúa de manera definida a lo largo del área de formación de fisuras por efecto de la absorción inducida en la profundidad del sustrato.

Según la invención, se pueden mecanizar materiales diferentes, especialmente discos de zafiro, pastillas semiconductoras, ...

También se pueden mecanizar y dividir según la invención materiales ya revestidos (por ejemplo, revestidos de TCO) o bien sustratos impresos de manera no transparente en un lado.

5 Según la invención, es posible un corte prácticamente sin rendija de corte: Únicamente se genera un daño del material que está generalmente en el intervalo comprendido entre 1 y 10 μm de extensión. No se genera entonces especialmente ninguna pérdida por corte con respecto al material o la superficie. Esto es ventajoso especialmente al cortar pastillas semiconductoras, ya que las pérdidas por rendijas de corte reducirían la superficie activamente utilizable de la pastilla. Por tanto, gracias al procedimiento de corte de la superficie focal según la invención resulta un elevado rendimiento en materia de superficie.

10 El procedimiento según la invención puede utilizarse especialmente también en la explotación en línea de procesos de producción. Esto se realiza de manera especialmente ventajosa en procesos de producción que se desarrollan en un procedimiento de rollo a rollo.

Según la invención, se pueden utilizar tanto láseres de impulsos individuales como láseres de impulsos en ráfaga. En principio, es imaginable también la utilización de láseres en funcionamiento de régimen permanente.

Se obtienen a modo de ejemplo los campos de aplicación específicos siguientes:

15 1. División de un LED de zafiro con la posibilidad de cortar total o parcialmente la pastilla de zafiro. Con el procedimiento según la invención se puede seccionar al mismo tiempo también la capa metálica, y esto en un único paso.

20 2. La individualización de pastillas semiconductoras es posible sin dañar la cinta. Se coloca para ello la superficie focal tan solo parcialmente en el interior del material del sustrato, con lo que ésta comienza en la superficie exterior y cesa antes de la lámina encintada (sobre la superficie posterior del sustrato alejada del láser): Por ejemplo, no se divide aproximadamente un 10% del material. Por tanto, la lámina permanece intacta debido a que la superficie focal se “detiene” antes de la lámina. La pastilla semiconductoras puede separarse entonces seguidamente en el 10% restante por medio de fuerzas mecánicas (o fuerzas térmicas, por ejemplo por medio de un láser de CO_2).

25 3. Corte de materiales revestidos: Ejemplos son aquí reflectores de Bragg (DBR) o bien pastillas de zafiro revestidas de metal. Según la invención, se pueden cortar también pastillas de silicio procesadas sobre las cuales se han aplicado las capas activas de metal o de óxido metálico.

A continuación, se describirá la presente invención haciendo referencia a algunos ejemplos de realización que se basan en lo anteriormente descrito. Muestran en los dibujos:

30 La figura 1, el principio de la generación según la invención de una superficie focal de rayo láser, con la que puede efectuarse la mecanización según la invención de un material de sustrato transparente para la longitud de onda del láser (aquí: un sustrato de silicio) debido a la absorción inducida en la zona de la superficie focal del rayo láser,

La figura 2, el posicionamiento según la invención de la superficie focal del rayo láser en el sustrato, en detalle,

La figura 3, diferentes posibilidades de mecanización del sustrato mediante un posicionamiento diferente de la superficie focal del rayo láser con relación al sustrato,

35 La figura 4, una primera disposición óptica utilizable según la invención,

La figura 5, una segunda disposición óptica utilizable según la invención,

La figura 6, una tercera disposición óptica utilizable según la invención y

La figura 7, la división de un sustrato según la invención a lo largo de canales estrechos 1k entre zonas funcionales 1-1, 1-2, ... de la superficie del sustrato.

40 Las figuras 1 y 2 bosquejan el modo de actuación fundamental del procedimiento de mecanización según la invención. Un rayo láser 2a emitido por un láser 3 no mostrado es proyectado sobre la disposición óptica 6 (de ésta se muestra en la figura 1c únicamente la lente de colimación planoconvexa 11 que enfoca los haces del rayo láser 2a sobre el sustrato 1 – véanse también los ejemplos de realización descritos con relación a las figuras 4 a 6 siguientes).

45 La figura 1a muestra (en vista en planta del plano del sustrato o del plano x-y perpendicular a la dirección de irradiación z) lo que pasaría sin la conformación esencial del rayo según la invención por medio de los elementos 8, 7 y 13 seguidamente descritos de las disposiciones ópticas según la invención: A partir del rayo láser proyectado 2a se generaría en el lado de salida del rayo, a través de la zona de extensión definida a lo largo de la dirección del rayo (dirección longitudinal l o dirección de irradiación z), únicamente una línea focal extendida del rayo láser. Ésta se ha designado aquí con el símbolo de referencia 2b. La línea focal 2b del rayo láser (cuyo diámetro en el plano x-y del sustrato puede definirse, por ejemplo, por la anchura completa a la mitad del valor de la intensidad máxima en el corte transversal del rayo) estará rodeada, perpendicularmente a la dirección z del rayo o radialmente desde el

centro de la línea focal 2b del rayo láser, visto hacia fuera, por una zona de intensidad decreciente del rayo que se denomina seguidamente zona de halo. La zona de halo, cuya extensión radial perpendicularmente a la dirección z del rayo está provista aquí del símbolo de referencia a, puede definirse, por ejemplo, como la zona en la que la intensidad del rayo láser 2a cae hasta una centésima (o incluso, por ejemplo, hasta una milésima) de la intensidad máxima en la línea focal 2b del rayo láser (o en el centro de la misma). Como se describe con mayor precisión en relación con la figura 7, la intensidad residual aún existente en las zonas exteriores del borde del halo sobre zonas de superficie funcionales del sustrato a individualizar puede conducir a daños o destrozos no deseados. Por tanto, uno de los objetivos según la invención es la formación de un corte transversal del rayo o una forma de halo tal que puedan impedirse los daños o destrozos citados.

La conformación del rayo producida para ello a través de los elementos 8, 7 y 13 esenciales para la invención (véanse las figuras 4 a 6) es visible en las figuras 1b y 1c: Según la invención, en lugar de una línea focal unidimensional 2b se genera una superficie focal 2f del rayo láser que se extiende sobre una zona de superficie y que está extendida tanto visto a lo largo de la dirección z del rayo como visto en exactamente una primera dirección y perpendicular a la dirección z del rayo, pero que no está extendida en una segunda dirección x que es tanto perpendicular a la primera dirección y como a la dirección z del rayo (x, y, z = sistema de coordenadas cartesianas). Cubriendo al menos seccionalmente esta superficie focal 2f de la radiación láser 2a está posicionado en el trayecto del rayo después de la disposición óptica 6 el sustrato plano 1 que se debe mecanizar. El símbolo de referencia 1a designa la superficie del sustrato plano vuelta hacia la disposición óptica 6 o hacia el láser 3 y el símbolo de referencia 1b designa la superficie trasera distanciada del sustrato 1 habitualmente paralela a la superficie anterior. El espesor del sustrato (perpendicularmente a las superficies 1a y 1b, es decir, medido con respecto al plano del sustrato) se designa con el símbolo de referencia d; véase la figura 2.

Debido a la conformación del rayo según la invención, descrita seguidamente con detalle, la zona de halo anteriormente circular (figura 1a) vista en corte transversal en el plano x-y del sustrato, está fuertemente reducida en su extensión en la segunda dirección x (con relación a la extensión perpendicular a ella y perpendicularmente a la dirección z del rayo, es decir, con respecto a la extensión en la primera dirección y). En el centro de la zona de halo se genera una superficie focal aplanada en lugar de una línea focal rotacionalmente simétrica. La extensión de la zona de halo en la dirección x, definida como en el caso de la figura 1a, se designa con a_x y la extensión de la zona de halo en la dirección y se designa con a_y . Ventajosamente, a_x es menor que a_y en al menos el factor 10, preferiblemente en al menos el factor 50, preferiblemente en al menos el factor 100.

Como muestra la figura 2a, el sustrato 1 está orientado aquí perpendicularmente al eje longitudinal del rayo y, por tanto, a la superficie focal 2f generada en el espacio por la disposición óptica 6 detrás de la misma (el sustrato es perpendicular al plano del dibujo) y está posicionado con relación a la superficie focal 2f, visto a lo largo de la dirección z del rayo, de modo que la superficie focal 2f, visto en la dirección z del rayo, comience delante de la superficie 1a del sustrato y termine delante de la superficie 1b del sustrato, es decir, todavía dentro del sustrato. Por tanto, la superficie focal 2f del rayo láser extendida en ambas direcciones espaciales z e y genera (a una intensidad adecuada del láser en la zona de la superficie focal 2f del rayo láser que se asegura por medio del enfoque del rayo láser 2 sobre una sección de longitud l y anchura b, es decir, por medio de un foco superficial de superficie $l \cdot b$), en la zona de coincidencia de la superficie focal 2f con el sustrato 1, es decir, en el material del sustrato que es cubierto por la superficie focal 2f, una sección de superficie extendida 2c, visto a lo largo de la dirección longitudinal z del rayo y a lo largo de la dirección y de la anchura, a través de la cual se genera una absorción inducida en el material del sustrato que induce a lo largo de la sección 2c formaciones de fisuras en el material del sustrato. Las formaciones de fisuras se producen aquí no solo localmente, sino en toda la superficie de la sección extendida 2c de absorción inducida. La longitud de esta sección 2c (es decir, en último término la longitud de la coincidencia de la superficie focal 2b del rayo láser con el sustrato 1 en la dirección z) está provista aquí del símbolo de referencia L. La anchura de la sección 2c corresponde a la anchura b de la superficie focal 2f. La extensión media de la sección de absorción inducida (o de las zonas en el material del sustrato 1 que se someten a la formación de fisuras) en dirección perpendicular a la extensión de la superficie, es decir, visto en la dirección x, está designada aquí con el símbolo de referencia D. Esta extensión media D corresponde a la extensión media de la superficie focal 2f del rayo láser en la dirección x.

Por tanto, como muestra la figura 2a, se calienta según la invención un material de sustrato transparente para la longitud de onda λ del rayo láser 2a por medio de una absorción inducida en la zona de la superficie focal 2f. La figura 2b esboza que el material calentado se extiende finalmente, con lo que una tensión correspondientemente inducida conduce a la formación de microfisuras según la invención, siendo máxima la tensión en la superficie 1a.

A continuación, se describen disposiciones ópticas concretas 6 que pueden utilizarse para generar la superficie focal 2f. Todas las disposiciones se basan aquí en lo anteriormente descrito, por lo que se emplean siempre símbolos de referencia idénticos para componentes o características idénticos o correspondientes en su función. Por tanto, en lo que sigue se describirán solamente las respectivas diferencias.

Dado que la superficie de división que conduce finalmente a la separación es o debe ser de alta calidad según la invención (respecto de resistencia a la rotura, precisión geométrica, rugosidad y evitación de necesidades de remecanización), las distintas superficies focales (más exactamente: generadas por impulsos de láser individuales) a posicionar a lo largo de la línea de división 5 (véase la figura 7) sobre la superficie del sustrato se generan como se

ha descrito con las disposiciones ópticas siguientes (la disposición óptica se denomina a continuación alternativamente también óptica láser). La rugosidad resulta aquí especialmente de la extensión D de la superficie focal en la dirección x. Para poder conseguir una pequeña extensión D de, por ejemplo, $0,5 \mu\text{m}$ a $2 \mu\text{m}$ a una longitud de onda dada λ del láser 3 (interacción con el material del sustrato 1) se pueden imponer en general determinados requisitos a la apertura numérica de la óptica láser 6. Estos requisitos se cumplen por las ópticas láser 6 descritas seguidamente.

La figura 3 muestra para todas las disposiciones ópticas 6 anteriormente descritas que la superficie focal 2f del rayo láser puede posicionarse de manera diferente mediante un posicionamiento y/u orientación adecuados de la disposición óptica 6 con relación al sustrato 1 y mediante una elección adecuada de los parámetros de la disposición óptica 6: Como esboza la primera línea de la figura 3, la longitud l de la superficie focal 2f puede ajustarse de modo que ésta sobrepase el espesor d del sustrato (aquí en el factor 2). Por tanto, si se coloca el sustrato 1 en el centro de la superficie focal 2f, visto en la dirección longitudinal z del rayo, se genera una sección extendida 2c de absorción inducida a través de todo el espesor d del sustrato. En el caso mostrado en la segunda línea de la figura 3b se genera una superficie focal 2f de longitud l que corresponde aproximadamente a la extensión d del sustrato. Dado que el sustrato 1 se posiciona con relación a la superficie 2f de manera que esta superficie 2f comience en una línea delante del sustrato, es decir, fuera del mismo, la longitud L de la sección extendida 2c de absorción inducida (que se extiende aquí desde la superficie del sustrato hasta una profundidad definida de éste, pero no hasta la superficie trasera 1b) es aquí más pequeña que la longitud l de la superficie focal 2f. La tercera línea de la figura 3b muestra el caso en el que el sustrato 1 se posiciona parcialmente delante del comienzo de la superficie focal 2f, visto a lo largo de la dirección z del rayo, con lo que también aquí se cumple para la longitud l de la superficie focal que $l > L$ (L = extensión de la sección 2c de absorción inducida en el sustrato 1). Por tanto, la superficie focal comienza en el interior del sustrato y se extiende por toda la superficie trasera 1b hasta fuera del sustrato. La cuarta línea de la figura 3b muestra finalmente el caso en el que la longitud l de la superficie focal generada es menor que el espesor d del sustrato, con lo que – con un posicionamiento centrado del sustrato con relación a la superficie focal, visto en la dirección de irradiación – la superficie focal comienza aquí cerca de la superficie 1a en el interior del sustrato y termina más cerca de la superficie 1b en el interior del sustrato ($l = 0,75 \cdot d$).

Según la invención, es aquí especialmente ventajoso materializar el posicionamiento de la superficie focal de modo que al menos una de las superficies 1a, 1b sea cubierta por la superficie focal, con lo que la sección de absorción inducida 2c comience en al menos una superficie. De esta manera, se pueden lograr cortes casi ideales evitando ablación, formación de rebabas y formación de partículas en la superficie.

Las disposiciones ópticas mostradas en las figuras 4 y 5 se basan en la idea fundamental de utilizar primeramente, para formar la superficie focal 2f, una óptica (elemento 9) con una superficie libre no esférica que está conformada de modo que se obtenga una superficie focal de una longitud definida l. A este fin, se pueden utilizar esferas como elementos ópticos 9 de la disposición óptica 6. Por ejemplo, en las figuras 4 y 5 se utiliza un llamado prisma cónico que se denomina frecuentemente también axicón. Un axicón es una lente especial cónicamente esmerilada que forma una fuente puntual sobre una línea a lo largo del eje óptico (o bien transforma anularmente un rayo láser). La constitución de este axicón es fundamentalmente conocida para el experto; el ángulo del cono es aquí, por ejemplo, de 10° . El axicón designado aquí con el símbolo de referencia 9 está orientado con el vértice de su cono en sentido contrario a la dirección de irradiación (aquí: dirección -z) y está centrado sobre el centro del rayo. En el trayecto del rayo después de la óptica de superficie libre se utiliza otra óptica (elemento 7 u 8) que reduce la extensión del haz de rayos de la radiación láser 2a en la segunda dirección x y, por tanto, estrangula el haz de rayos en la dirección x.

La figura 4 muestra un primer ejemplo de realización para un dispositivo según la invención junto con una disposición óptica 6 para formar una superficie focal 2f de rayo láser extendida en el plano y-z (eje óptico 6z de la disposición 6 o del dispositivo y dirección de irradiación en la dirección -z). En el trayecto del rayo del láser 3 (no mostrado), cuyo rayo láser se ha designado con 2a, está posicionado primeramente a lo largo de la dirección de irradiación un elemento óptico con una superficie no esférica que está conformada para obtener una línea focal de rayo láser extendida en la dirección z. Este elemento óptico es aquí un axicón 9 con un ángulo de cono de 5° que está posicionado perpendicularmente a la dirección del rayo y centrado sobre el rayo láser 2a. El vértice del cono del axicón 9 mira en sentido contrario a la dirección de irradiación. En la dirección del rayo a la distancia z_1' del axicón 9 está dispuesto un elemento óptico colimador, aquí una lente de colimación planoconvexa 12, cuya superficie plana mira en la dirección -z del rayo, de modo que se colime, es decir, se oriente en paralelo, la radiación láser incidente sobre la lente de colimación planoconvexa 12. La distancia z_1' de la lente de colimación planoconvexa 12 al axicón 9 se ha elegido aquí con un valor de aproximadamente 300 mm de modo que el haz del rayo láser conformado por el axicón 9 incida anularmente sobre las zonas exteriores de la lente 12. Por tanto, mediante la lente 12 radialmente distanciada del eje óptico 6z del dispositivo se genera un haz de rayos anular 2r que discurre paralelamente al eje óptico 6z.

En el lado de salida del rayo de la lente 12 está posicionado a la distancia z_1 , siendo $z_1 > z_1'$ (aquí: $z_1 = 1,3 \times z_1'$), un diafragma de rendija unidimensional 8. El diafragma de rendija 8 está orientado con su dirección preferente (es decir, la dirección de la rendija) en la primera dirección, es decir, la dirección y. El diafragma de rendija (denominado también alternativamente a continuación diafragma de hendidura) 8 está posicionado aquí de modo que el eje óptico 6z discorra centrado entre los dos bordes de la rendija, visto en la segunda dirección x. La anchura de la rendija se ha elegido de modo que ésta se corresponda con el diámetro interior $2i$ del haz de rayos anular 2r en el lado de

5 salida de la lente 12: Como muestra la figura 4a, se bloquean así, visto a lo largo de una recta que discurre en la dirección x y a través del eje óptico $6z$, las fracciones correspondientes del haz de rayos anular $2r$ por medio del material de los bordes del diafragma de hendidura 8, cuyo material no es transparente para la radiación láser de la longitud de onda empleada. Sin embargo, debido a la unidimensionalidad del diafragma de hendidura 8 las fracciones de radiación correspondientes en el haz de rayos $2r$ alcanzan sin dificultad el espacio del lado de salida del diafragma de hendidura 8 (véase la figura 4b), visto a lo largo de una recta que discurre en la dirección y y a través del eje óptico $6z$.

10 En el lado de salida del rayo del diafragma 8 y a distancia de éste está posicionada, centrada alrededor del eje óptico $6z$, otra lente de colimación planoconvexa 11 que sirve aquí como lente de enfoque: Esta lente enfoca todas las fracciones del haz de rayos anteriormente anular $2r$ no dejadas en sombra por el diafragma 8, en la primera dirección y y en la segunda dirección x , sobre el sustrato plano 1 dispuesto en el lado de salida del rayo de esta lente 11 perpendicularmente al eje óptico $6z$, es decir, en el plano x - y . Por tanto, la lente 11 (cuyo lado plano está vuelto hacia el sustrato 1) enfoca las fracciones del haz de rayos anteriormente anular $2r$ no apantalladas por el diafragma 8, a una distancia definida de la lente 11, sobre una superficie focal bidimensional $2f$ del rayo láser con una extensión definida en la dirección z (debido a la acción del axicón 9) y también con una extensión definida en la dirección y (debido a la acción del diafragma 8); véase a este respecto la conformación del rayo mostrada en la figura 1b. La distancia focal efectiva de la lente 11 es aquí de 25 mm, con lo que la superficie focal $2f$ del rayo láser se origina aproximadamente a una distancia de 20 mm de la lente 11 (se posiciona allí el sustrato 1).

20 Las propiedades ópticas de los elementos 9, 12 y 11 rotacionalmente simétricos y posicionados sobre el eje óptico $6z$ y de la disposición óptica 6 que comprende el diafragma 8 (especialmente las conformaciones geométricas de los elementos 9, 12, 8 y 11 y su posicionamiento de uno con relación a otro a lo largo del eje principal $6z$ del rayo) pueden elegirse aquí de modo que la extensión l de la superficie focal $2f$ del rayo láser en la dirección z sea el doble de grande que el espesor d del sustrato en la dirección z . Si se posiciona entonces el sustrato 1 de manera centrado con respecto a la superficie focal $2f$ (véase la figura 3, línea superior), tiene lugar en toda la superficie del sustrato la formación de la sección de superficie extendida $2c$ de absorción inducida. La extensión l de la superficie focal $2f$ en la dirección z puede ajustarse por medio del diámetro del rayo sobre el axicón 9. La apertura numérica sobre la superficie focal $2f$ puede ajustarse por medio de la distancia z_1' del axicón 9 a la lente 12 y por medio del ángulo del cono del axicón 9. De esta manera, se puede concentrar toda la energía del láser en la superficie focal $2f$.

30 En lugar de las lentes planoconvexas 11, 12 mostradas en la figura 4 (y también en las figuras 5 y 6, véase lo que sigue) se pueden utilizar también lentes de menisco enfocantes u otras lentes de enfoque más corregidas (asferas, polilentes).

35 La figura 5 muestra otro ejemplo de un dispositivo según la invención que está concebido fundamentalmente como el mostrado en la figura 4. Por tanto, en lo que sigue se describen solamente las diferencias (la disposición óptica 6 comprende aquí los elementos ópticos 9 y 11 rotacionalmente simétricos, centrados sobre el eje $6z$, y una lente cilíndrica 7).

40 En el trayecto 2a del rayo se posiciona en el lado de salida del rayo del axicón 9, en lugar de la lente 12 de la figura 4, a una distancia de z_2 , visto a lo largo del eje óptico $6z$, la lente cilíndrica planoconvexa de enfoque 7. La distancia z_2 de la lente 7 al axicón puede elegirse aquí como la distancia z_1' de la figura 4. El lado plano de la lente cilíndrica 7, que se posiciona en el plano x - y , está en el lado alejado del axicón 9. La dirección preferente, es decir, la dirección del eje del cilindro de la lente cilíndrica 7, se orienta en sentido paralelo a la dirección x , y la lente cilíndrica 7 se dispone centrada, visto con referencia al eje óptico $6z$. La distancia z_2 y las extensiones de la lente 7 se eligen de modo que el haz de rayos generado por el axicón 9 y anularmente divergente en el lado de entrada de la lente cilíndrica 7 incida sobre las zonas del borde exterior de la lente cilíndrica 7. La conformación y el posicionamiento de los elementos 9, 7 se efectúan aquí de modo que, visto a lo largo de una recta que discurra en la dirección x y a través del eje óptico $6z$, no se desvíen las fracciones correspondientes del haz de rayos anularmente divergente que inciden sobre la lente 7 (véase la figura 5a), mientras que, visto a lo largo de una recta que discurre en la dirección y y a través del eje óptico $6z$, se coliman, es decir, se ponen paralelos, por la lente cilíndrica 7 las fracciones correspondientes de este haz de rayos que inciden sobre la lente 7 (figura 5b).

50 A una distancia definida z_2' detrás de la lente cilíndrica 7 está posicionada en el trayecto del rayo, centrada alrededor del eje óptico $6z$ como en el ejemplo de realización de la figura 4, la lente de colimación planoconvexa de enfoque 11. La distancia z_2' se ha elegido aquí de modo que, visto a lo largo de la recta que discurre en la dirección x y a través del eje óptico $6z$, las fracciones de rayos correspondientes $2x$ pasen lateralmente por delante de la lente 11 sin ser desviadas, mientras que, visto a lo largo de la recta que discurre en la dirección y y a través del eje óptico $6z$, unas fracciones de rayos $2y$ son capturadas completamente por la lente 11 y desviadas, y las fracciones de rayos correspondientes son enfocadas en $2f$ sobre el sustrato 1 posicionada en el lado de salida de los rayos de la lente 11.

60 Por tanto, mediante la combinación del axicón rotacionalmente simétrico 9 con la lente cilíndrica 7 y el enfoque subsiguiente por medio de la lente de colimación planoconvexa 11 rotacionalmente simétrica se puede materializar la conformación de los rayos de la figura 1b. La extensión de la superficie focal $2f$ del rayo láser en la dirección y y en la dirección z se ajusta como sigue:

- Desplazamiento distancia pieza de trabajo 1 a lente de enfoque 11
- Variación de la longitud focal de la lente de enfoque 11
- Iluminación axición 9.

La figura 6 muestra otro ejemplo de un dispositivo según la invención para generar una superficie focal extendida 2f.

5 En el trayecto 2a del rayo del láser 3 (no mostrado) se posiciona primeramente un elemento óptico 13 no rotacionalmente simétrico, provisto de una dirección preferente (aquí: dirección x). Este elemento está configurado como un elemento desviador en el lado de entrada de los rayos y plano en el lado de salida de los rayos, que se centra sobre el eje óptico 6z. Por tanto, el lado plano mira hacia el sustrato 1. El lado de desviación (es decir que mira hacia el láser 3), opuesto al lado plano, está configurado como una cuña doble en forma de tejado puntiagudo
10 cuya arista central discurre a lo largo de la dirección x y a través del eje óptico 6z. En lo que sigue el elemento 13 se denomina también simplíficadamente cuña doble.

Por tanto, como muestra la figura 6a, visto a lo largo de una recta que discurre en la dirección x y a través del eje óptico 6z, las fracciones correspondientes del haz de rayos 2a únicamente se transmiten a través de la cuña doble 13, pero no se desvían. Perpendicularmente a esta recta, es decir, visto a lo largo de una recta que discurre en la
15 dirección y y a través del eje óptico 6z, los haces de rayos parciales correspondientes colocados a ambos lados del eje óptico 6z, vistos por separado, son desviados paralelamente por la estructura de cuña doble y, vistos como un todo, son desviados uno hacia otro por dicha estructura (figura 6b): Todas las fracciones s1 del haz de rayos 2a proyectado sobre la cuña doble 13 que se encuentran en el semiespacio y1 por encima de un plano que discurre paralelamente al plano x-y y a través del eje óptico 6z se desvían así paralelamente y hacia el semiespacio opuesto y2 (discurriendo por debajo del plano citado paralelamente al plano x-z y a través del eje óptico 6z). Recíprocamente, todas las fracciones s2 del haz de rayos 2a que inciden sobre la cuña 13 por debajo del plano citado son desviadas paralelamente hacia fuera del semiespacio y2 y hacia el semiespacio y1.

Visto en la dirección de los rayos, a distancia de la cuña 13 (detrás del punto de cruce de las dos fracciones de rayos s1 y s2) está posicionada como en el ejemplo de la figura 5 una lente cilíndrica 7: Visto en la dirección x, no se
25 realiza por esta lente ninguna desviación de las fracciones de rayos s1 y s2 y, visto en la dirección y, las dos fracciones de rayos s1 y s2 son desviadas por dicha lente hacia el eje 6z y son colimadas (ambas fracciones de rayos s1 y s2 discurren paralelamente al eje 6z en el lado de salida de los rayos de la lente 7).

Visto en la dirección de los rayos, detrás de la lente cilíndrica 7, es decir, a una distancia definida z3 en el lado de salida de los rayos de la cuña doble 13, está posicionada (como en los ejemplos de las figuras 4 y 5) la lente de
30 colimación planoconvexa 11. Ésta está configurada también como se ha descrito en los ejemplos anteriores y está dispuesta centrada sobre el eje 6z. La distancia z3 se elige de modo que los dos haces de rayos s1 y s2 paralelamente divergentes uno de otro, visto en la dirección de irradiación (dirección-z), y dirigidos paralelamente hacia la lente 7 incidan, visto en la dirección y, sobre zonas de borde exteriores de la lente de colimación 11. Por tanto, la lente 11 enfoca los dos haces de rayos s1 y s2 sobre una superficie focal 2f de rayo láser extendida en el plano y-z, en la que, tal como se ha descrito en los demás ejemplos de realización, se posiciona el sustrato 1 que se debe mecanizar. Por consiguiente, con una disposición óptica 6 que comprenda los elementos 11, 7 y 13 se puede
35 materializar también la conformación de los rayos según la figura 1b.

La figura 7 esboza en vista en planta del plano del sustrato (plano x-y) una posible mecanización según la invención de un sustrato semiconductor 1 provisto ya de estructuras funcionales 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4. Las estructuras
40 funcionales 1-1, ... dispuestas aquí en forma de cuadrantes no deberán ser sometidas durante la individualización a la acción de una radiación láser (por tanto, se tiene que impedir especialmente también que la zona de halo H del rayo láser mostrada en las figuras 1a y 1b e insinuada con los símbolos de referencia a o a_x , a_y cubra durante la individualización las zonas funcionales citadas). Por tanto, una radiación láser deberá incidir exclusivamente sobre las estructuras 1k de forma de canal que se extienden entre las zonas funcionales y que no presentan estructuras
45 funcionales de ninguna clase y, en consecuencia, no deberán radiarse con láser.

Como insinúa la figura 7, se puede trabajar con una superficie focal 2f de rayo láser generada según la figura 1b y adaptada a la anchura de los canales 1k: La dirección de avance del rayo láser 2a sobre el sustrato 1 se dispone exactamente paralela a un eje de canal longitudinal (aquí: el canal 1k que discurre verticalmente y está orientada en la dirección y). Al mismo tiempo, la superficie focal 2f del rayo láser se genera perpendicularmente al plano del
50 sustrato (plano x-y) y paralelamente a la dirección de avance. Por tanto, en, por ejemplo, el caso mostrado en la figura 4 (la óptica de desviación en sí conocida para el experto y materializable, por ejemplo, a base de escáneres galvanométricos no se muestra en los ejemplos de realización de las figuras 4 a 7) se produce un avance del rayo láser 2a a lo largo de una línea 5 (que corresponde a una línea de división deseada a lo largo de la cual se debe dividir el sustrato) de modo que se genere una multiplicidad 2c-1, 2c-2, ... de secciones de superficie extendidas 2c de absorción inducida (véase la figura 3). Cada sección de absorción inducida 2c-1, ... corresponde aquí a un área de alteración generada por un único impulso del láser pulsado en el material del sustrato a lo largo de la línea de
55 división 5.

5 Dado que las distintas áreas de alteración 2c-1, ... se generan en el centro del canal 1k y éstas o las superficies focales 2f del rayo láser discurren siempre paralelamente a los bordes de las estructuras funcionales 1-1, ..., se puede garantizar mediante una elección adecuada de los parámetros ópticos que el área de halo H que rodea a la superficie focal 2f presente en la dirección x un diámetro sensiblemente más pequeño que en la dirección y. La extensión del área de halo H en la dirección x se elige de modo que sea más pequeña que la anchura del canal 1k.

10 La tasa de repetición de los impulsos de láser se coordina con la velocidad de avance del láser de modo que la distancia media A de secciones de superficie extendidas 2c de absorción inducida directamente contiguas, es decir, generadas por impulsos de láser directamente consecutivos en el tiempo, sea insignificamente mayor (por ejemplo, en el factor 1,1) que la anchura b de la superficie focal 2f del rayo láser en la dirección de avance o la dirección y. Por tanto, sin un solapamiento de intensidad se produce una introducción de una multiplicidad de estructuras de alteración 2c directamente yuxtapuestas a lo largo del eje del canal 1k o de la línea de división deseada 5 y se consigue así una eficiente división del sustrato 1 a lo largo de tales canales 1k. Los restos del sustrato que aún permanecen entre dos estructuras de alteración contiguas 2c y que pueden reconocerse aquí como huecos pueden producirse, sin mayores dificultades, formaciones de fisuras mediante la acción de fuerzas mecánicas y/o tensiones térmicas para que los fragmentos del sustrato generados a ambos lados de la línea de división 5 sean desprendidos definitivamente uno de otro.

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes,

en el que se dirige el rayo láser (2a, 2f) de un láser (3) hacia el sustrato (1) para mecanizar hacia este último,

5 en el que con una disposición óptica (6) posicionada en el trayecto del rayo del láser (3) se conforma a partir del rayo láser (2a) proyectado hacia esta última, en el lado de salida del rayo de la disposición óptica (6), una superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente una primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en una segunda dirección (x) que es perpendicular tanto a la primera dirección (y) como a la segunda dirección (z),

10 en el que el sustrato (1) se posiciona con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que esta superficie focal (2f) del rayo láser genere en el interior del sustrato (1), a lo largo de una sección de superficie extendida (2c) del material del sustrato, una absorción inducida mediante la cual se producen en el material del sustrato formaciones de fisuras inducidas a lo largo de esta sección de superficie extendida (2c),

caracterizado por que

15 se conforma la superficie focal (2f) del rayo láser con la disposición óptica (6),

a cuyo fin se emplea un prisma cónico o axicón como un elemento óptico (9) de la disposición óptica (6) que presenta una superficie libre no esférica que está conformada para obtener la superficie focal (2f) del rayo láser con una longitud definida l , es decir, con una extensión definida, visto en la dirección (z) del rayo, y

20 a cuyo fin se posiciona en el lado de salida del rayo de este elemento óptico (9) con la superficie libre no esférica y a una distancia $z1$ del mismo, un diafragma (8) que recorta la extensión del rayo láser (2a) en la segunda dirección (x), es decir que está orientado con una dirección preferente en la primera dirección (y).

2. Procedimiento de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes,

en el que se dirige el rayo láser (2a, 2f) de un láser (3) hacia el sustrato (1) para mecanizar este último,

25 en el que con una disposición óptica (6) posicionada en el trayecto del rayo del láser (3) se conforma a partir del rayo láser (2a) proyectado sobre esta última, en el lado de salida del rayo de la disposición óptica (6), una superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente una primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en una segunda dirección (x) que es perpendicular tanto a la primera dirección (y) como a la dirección (z) del rayo,

30 en el que se posiciona el sustrato (1) con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que esta superficie focal (2f) del rayo láser genere en el interior del sustrato (1), a lo largo de una sección de superficie extendida (2c) del material del sustrato, una absorción inducida mediante la cual se producen en el material del sustrato formaciones de fisuras inducidas a lo largo de esta sección de superficie extendida (2c),

caracterizado por que

35 se conforma la superficie focal (2f) del rayo láser con la disposición óptica (6),

a cuyo fin se emplea un prisma cónico o axicón como elemento óptico (9) de la disposición óptica (6) que presenta una superficie libre no esférica que está conformada para obtener la superficie focal (2f) del rayo láser con una longitud definida l , es decir, con una extensión definida, visto en la dirección (z) del rayo, y

40 a cuyo fin se posiciona en el lado de salida del rayo de este elemento óptico (9) con la superficie libre no esférica y a una distancia $z2$ del mismo un elemento óptico (7) que enfoca el rayo láser (2a) en la primera dirección (y), pero no en la segunda dirección (x).

3. Procedimiento de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes,

en el que se dirige el rayo láser (2a, 2f) de un láser (3) hacia el sustrato (1) para mecanizar este último,

45 en el que con una disposición óptica (6) posicionada en el trayecto del rayo de láser (3) se conforma a partir del rayo láser (2a) proyectado sobre esta última, en el lado de salida del rayo de la disposición óptica (6), una superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente una primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en una segunda dirección (x) que es perpendicular tanto a la primera dirección (y) como a la dirección (z) del rayo,

en el que se posiciona el sustrato (1) con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que esta superficie focal (2f) del rayo láser genere en el interior del sustrato (1), a lo largo de una sección de superficie extendida (2c) del material del sustrato, una absorción inducida mediante la cual se producen en el material del sustrato formaciones de fisuras inducidas a lo largo de esta sección de superficie extendida (2c),

5 caracterizado por que

se conforma la superficie focal (2f) del rayo láser con la disposición óptica (6),

a cuyo fin se emplea una cuña doble como elemento óptico (13) de la disposición óptica (6) con la cual se desvían siempre paralelamente y hacia el eje óptico (6z) unos haces de rayos (s1, s2) procedentes de los dos semiespacios (y1, y2) opuestos con referencia al eje óptico (6z) de la disposición óptica (6), visto en la primera dirección (y), y

10 a cuyo fin se posiciona en el lado de salida del rayo de este elemento óptico (13) un elemento óptico (11) que enfoca el rayo láser (2a) al menos en la primera dirección (y).

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

el sustrato cristalino plano es o comprende lo siguiente:

15 • un sustrato semiconductor,

• un sustrato aislante

o

• un sustrato que contiene o está constituido por al menos un material basado en carbono con una ordenación fundamental cristalina o cuasicristalina.

20 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

se posiciona el sustrato (1) con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que, visto en la dirección (z) del rayo, la sección de superficie extendida (2c) de absorción inducida se extienda en el material, es decir, en el interior del sustrato (1), hasta al menos una de las dos superficies opuestas (1a, 1b) del sustrato.

25 6. Procedimiento según la reivindicación anterior,

caracterizado por que

se posiciona el sustrato (1) con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que, visto en la dirección (z) del rayo, la sección de superficie extendida (2c) de absorción inducida se extienda en el material, es decir, en el interior del sustrato (1), desde una (1a) de las dos superficies opuestas del sustrato (1) hacia dentro de éste, pero no hasta la otra (1b) de las dos superficies opuestas del sustrato, es decir que no se extiende a lo largo de todo el espesor de capa d del sustrato (1).

30

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

se genera la absorción inducida de modo que la formación de fisuras en la estructura del sustrato (1) tenga lugar sin ablación y sin fusión de material del sustrato (1).

35

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado por que

se emplea como láser (3) un láser pulsado.

9. Procedimiento según la reivindicación anterior,

40 caracterizado por que

la duración de impulso τ del láser (3) se elige de modo que, dentro del tiempo de interacción con el material del sustrato (1), la difusión de calor en este material sea despreciable, o

la frecuencia de repetición de los impulsos de láser (3) esté comprendida entre 10 kHz y 1000 kHz, o

el láser (3) sea hecho funcionar como un láser de impulsos individuales o como un láser de impulsos en ráfaga, o la potencia media del láser, medida directamente en el lado de salida del rayo del láser (3), esté comprendida entre 5 vatios y 100 vatios.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

5 caracterizado por que

se mueve el rayo láser (2a, 2f) con relación a la superficie (1a) del sustrato (1) a lo largo de una línea (5), a lo largo de la cual se debe seccionar el sustrato (1) para obtener varias partes, generándose a lo largo de esta línea (5) una multiplicidad (2c-1, 2c-2, ...) de secciones de superficie extendidas (2c) de absorción inducida en el interior del sustrato (1).

10 11. Procedimiento según la reivindicación anterior,

caracterizado por que

15 durante y/o después de la generación de la multiplicidad (2c-1, 2c-2, ...) de secciones de superficie extendidas (2c) de absorción inducida en el interior del sustrato (1) se ejercen fuerzas mecánicas sobre el sustrato (1) y/o se introducen tensiones térmicas en el sustrato (1), en particular se calienta y se enfría nuevamente el sustrato de manera no uniforme, para provocar siempre entre secciones de superficie extendidas (2c) de absorción inducida, directamente contiguas (2c-1, 2c-2), una formación de fisuras para dividir el sustrato en las varias partes.

12. Dispositivo de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes, que comprende un láser (3),

20 en el que se puede dirigir con el dispositivo el rayo (2a, 2f) del láser (3) hacia el sustrato (1) para mecanizar este último,

en el que está posicionada en el trayecto del rayo del láser (3) una disposición óptica (6) del dispositivo con la que se puede conformar a partir del rayo láser (2a) proyectado sobre esta última, en el lado de salida del rayo de la disposición óptica (6), una superficie focal (2f) del rayo láser extendida visto tanto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente una primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en una segunda dirección (x) que es perpendicular tanto a la primera dirección (y) como a la dirección (z) del rayo, y

25 en el que el sustrato (1) puede posicionarse o está posicionado con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que esta superficie focal (2f) del rayo láser genere en el interior del sustrato (1), a lo largo de una sección de superficie extendida (2c) del material del sustrato, una absorción inducida mediante la cual se provocan en el material del sustrato formaciones de fisuras inducidas a lo largo de esta sección de superficie extendida (2c),

30 caracterizado por que

la disposición óptica (6) para conformar la superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente la primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en la segunda dirección (x), comprende

35 un prisma cónico o axicón como elemento óptico (9) con una superficie libre no esférica que está conformada para definir la superficie focal (2f) del rayo láser con una longitud definida l , es decir, con una extensión definida, visto en la dirección (z) del rayo, y

40 en el lado de salida de este elemento óptico (9) con la superficie libre no esférica y a una distancia z_1 del mismo, un diafragma (8) que recorta la extensión del rayo láser (2a) en la segunda dirección (x), es decir que está orientado con una dirección preferente en la primera dirección (y).

13. Dispositivo de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes, que comprende un láser (3),

en el que se puede dirigir con el dispositivo el rayo (2a, 2f) del láser (3) hacia el sustrato (1) para mecanizar este último,

45 en el que está posicionada en el trayecto del rayo del láser (3) una disposición óptica (6) del dispositivo con la que se puede conformar a partir del rayo láser (2a) proyectado sobre esta última, en el lado de salida del rayo de la disposición óptica (6), una superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente una primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en una segunda dirección (x) que es perpendicular tanto a la primera dirección (y) como a la dirección (z) del rayo, y

50 del rayo, y

en el que el sustrato (1) puede posicionarse o está posicionado con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que esta superficie focal (2f) del rayo láser genere en el interior del sustrato (1), a lo largo de una sección de superficie extendida (2c) del material del sustrato, una absorción inducida mediante la cual se provocan en el material formaciones de fisuras inducidas a lo largo de esta sección de superficie extendida (2c),

5 caracterizado por que

la disposición óptica (6) para conformar la sección focal (2f) del rayo láser extendida visto tanto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente la primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en la segunda dirección (x), comprende

10 un prisma cónico o axicón como elemento óptico (9) con una superficie libre no esférica que está conformada para definir la superficie focal (2f) del rayo láser con una longitud definida l , es decir, con una extensión definida, visto en la dirección (z) del rayo, y

en el lado de salida del rayo de este elemento óptico (9) con la superficie libre no esférica y a una distancia z_2 del mismo, un elemento óptico (7) que enfoca el rayo láser (2a) en la primera dirección (y), pero no en la segunda dirección (x).

15 14. Dispositivo de mecanización basada en láser de un sustrato cristalino plano para dividir el sustrato en varias partes, que comprende un láser (3)

en el que se puede dirigir con el dispositivo el rayo (2a, 2f) del láser (3) hacia el sustrato (1) para mecanizar este último,

20 en el que está posicionada en el trayecto del rayo del láser (3) una disposición óptica (6) del dispositivo con la que se puede conformar a partir del rayo láser (2a) proyectado sobre esta última, en el lado de salida del rayo de la disposición óptica (6), una superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto también en exactamente una primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en una segunda dirección (x) que es perpendicular tanto a la primera dirección (y) como a la dirección (z) del rayo, y

25 en el que el sustrato (1) puede posicionarse o está posicionado con relación a la superficie focal (2f) del rayo láser de modo que esta superficie focal (2f) del rayo láser genere en el interior del sustrato (1), a lo largo de una sección de superficie extendida (2c) del material del sustrato, una absorción inducida mediante la cual se provocan en el material formaciones de fisuras inducidas a lo largo de esta sección de superficie extendida (2c),

caracterizado por que

30 la disposición óptica (6) para conformar la superficie focal (2f) del rayo láser extendida tanto visto a lo largo de la dirección (z) del rayo como visto en exactamente la primera dirección (y) perpendicular a la dirección (z) del rayo, pero no extendida en la segunda dirección (x), comprende

35 una cuña doble (13) como elemento óptico (13) con la que se pueden desviar siempre paralelamente y hacia el eje óptico (6z) unos haces de rayos (s_1 , s_2) procedentes de los dos semiespacios (y_1 , y_2) opuestos con referencia al eje óptico (6z) de la disposición óptica (6), visto en la primera dirección (y), y

en el lado de salida del rayo de este elemento óptico (13) un elemento óptico (11) que enfoca el rayo láser (2a) al menos en la primera dirección (y).

15. Uso de un procedimiento o un dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para dividir un sustrato semiconductor,

40 dividir un sustrato aislante o

dividir un sustrato que contiene o está constituido por al menos un material basado en carbono con una ordenación fundamental cristalina o cuasicristalina.

FIG 1

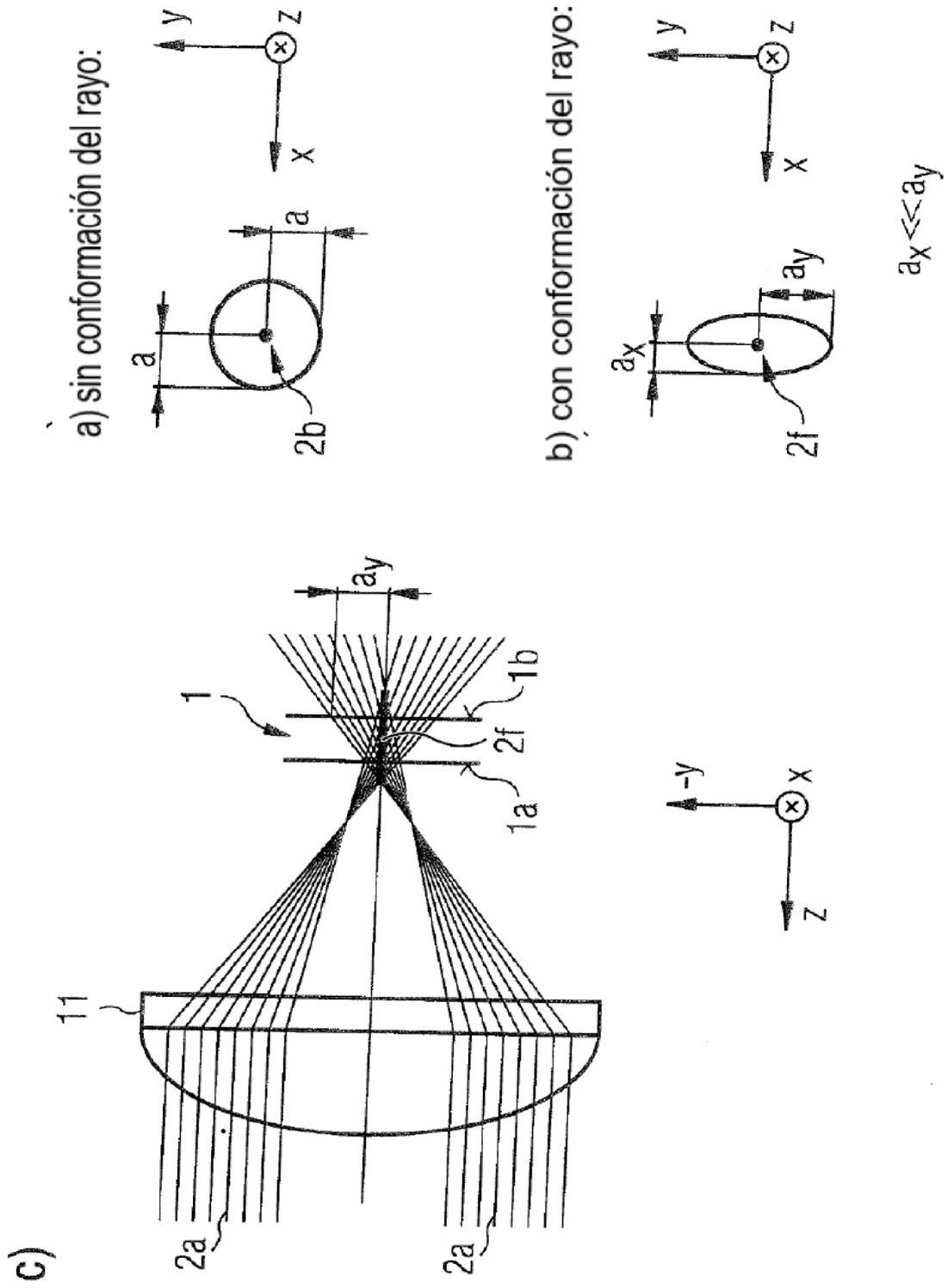
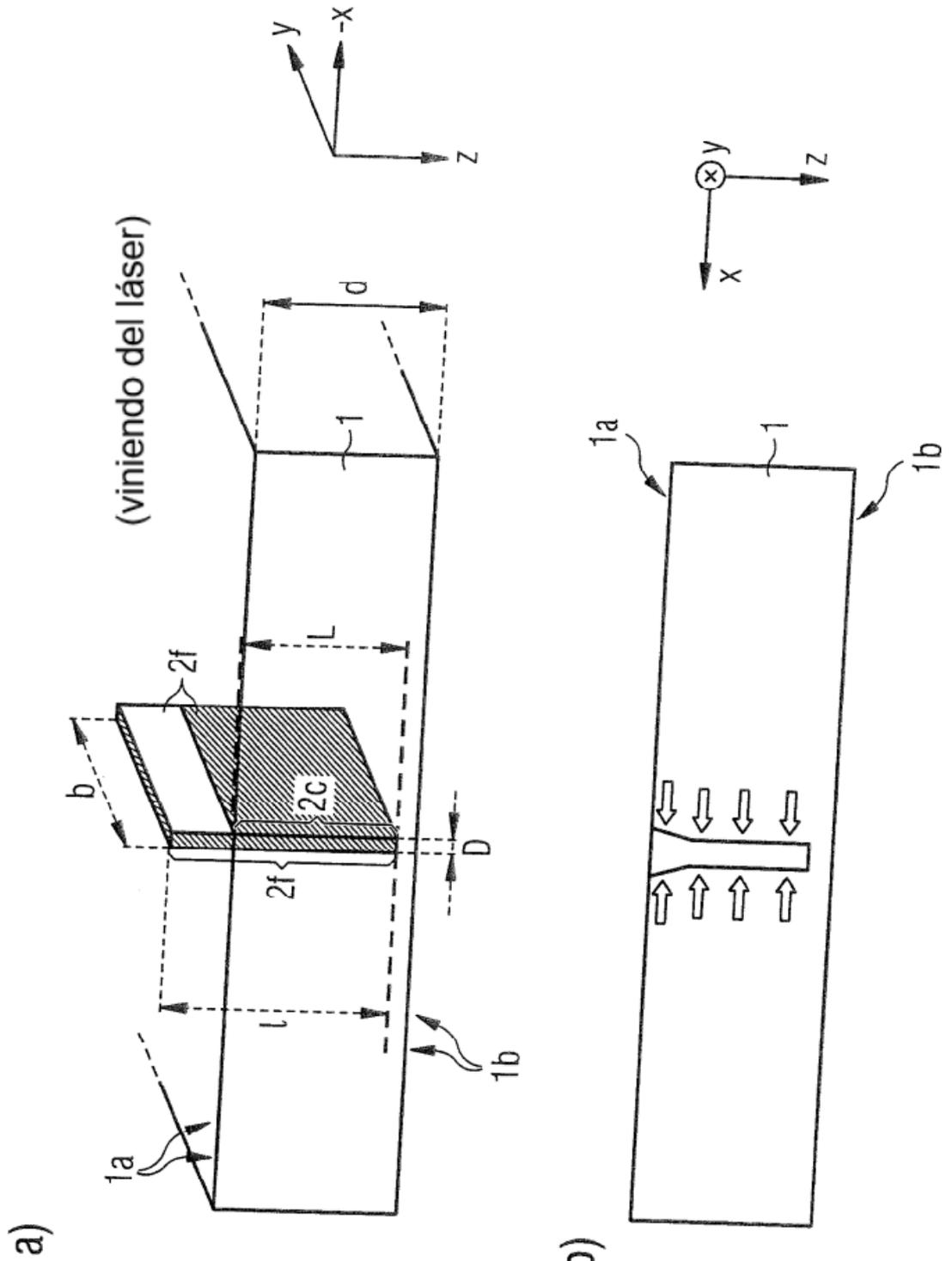


FIG 2



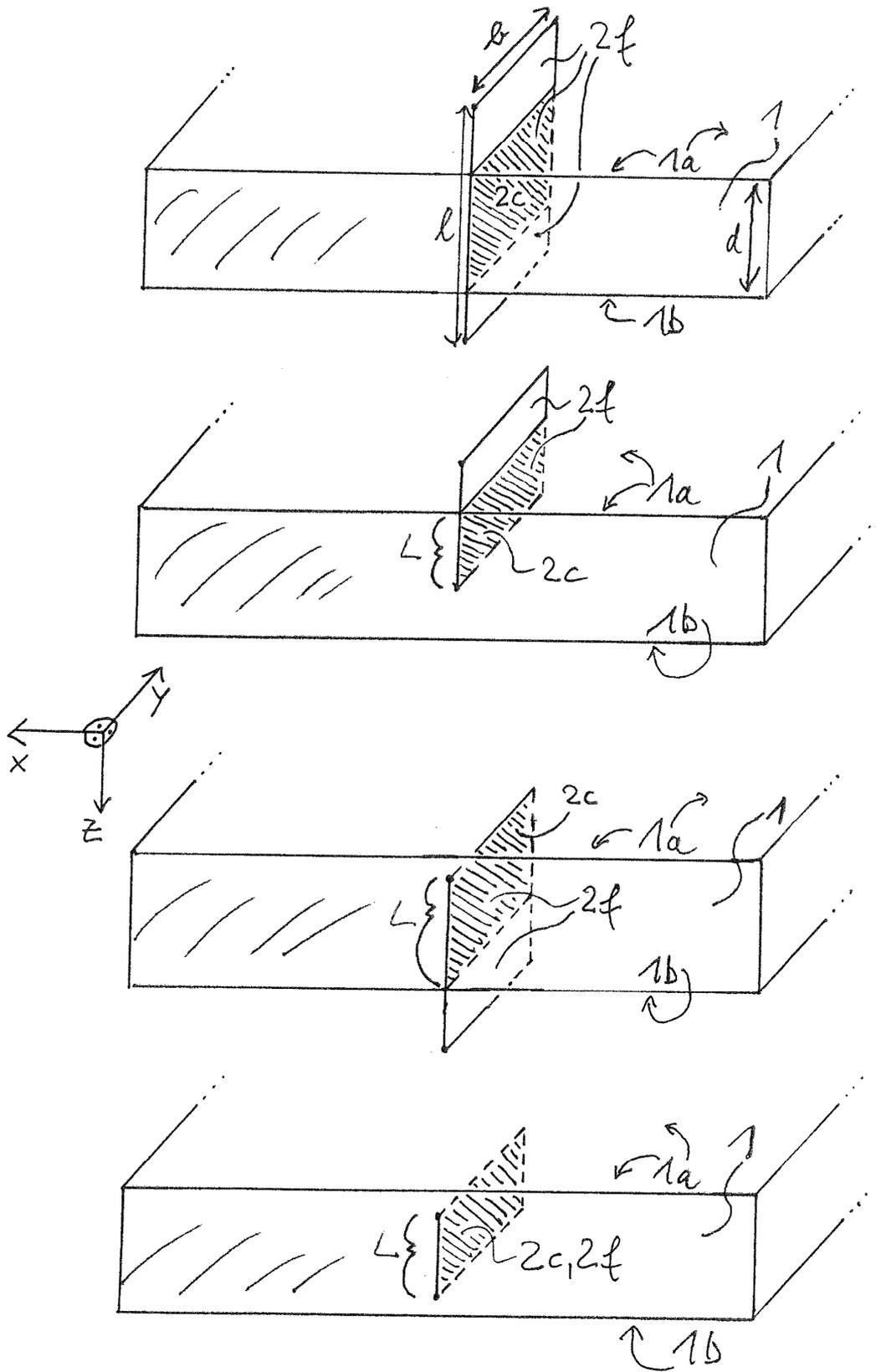
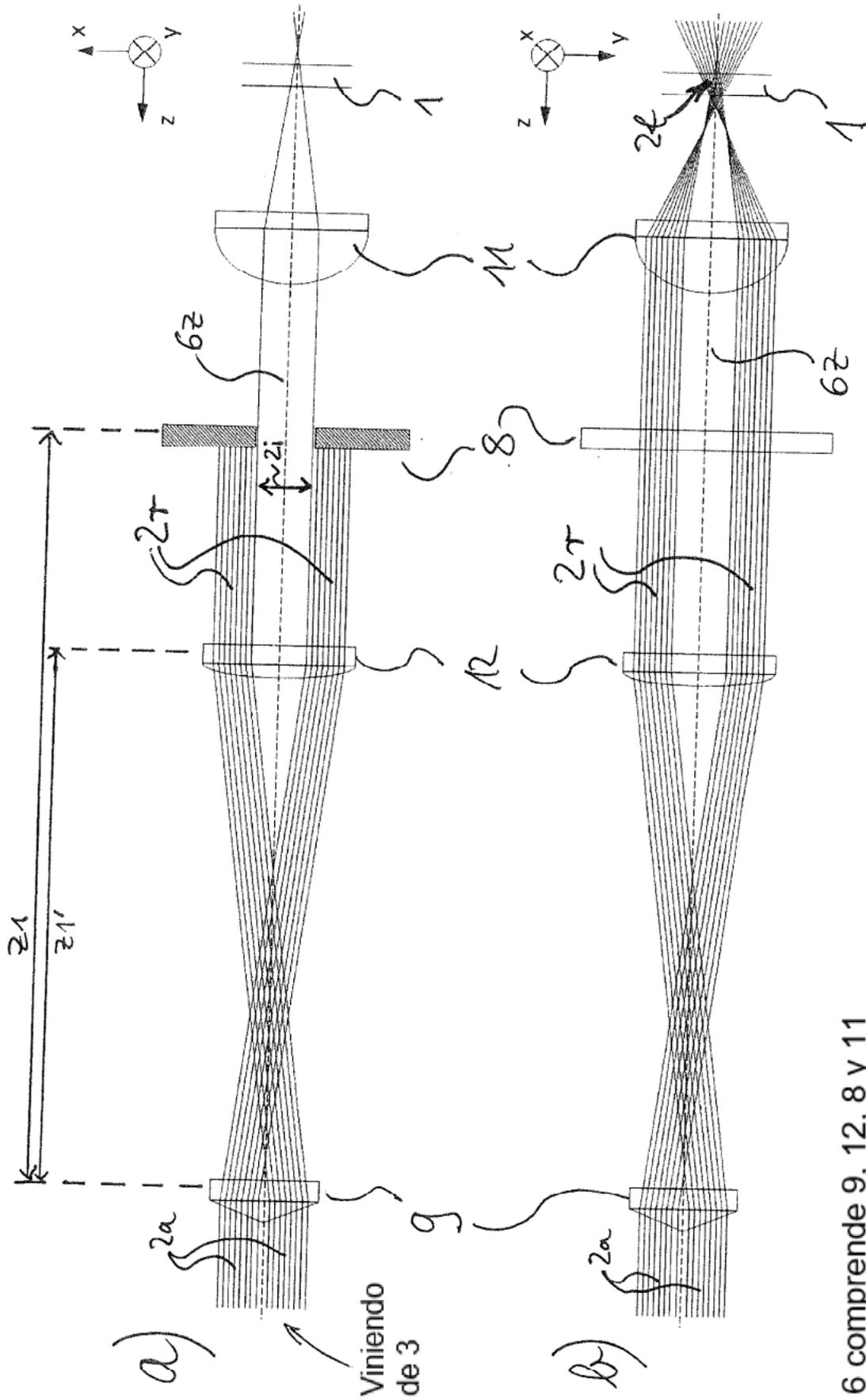


Fig. 3



6 comprende 9, 12, 8 y 11

Fig. 4

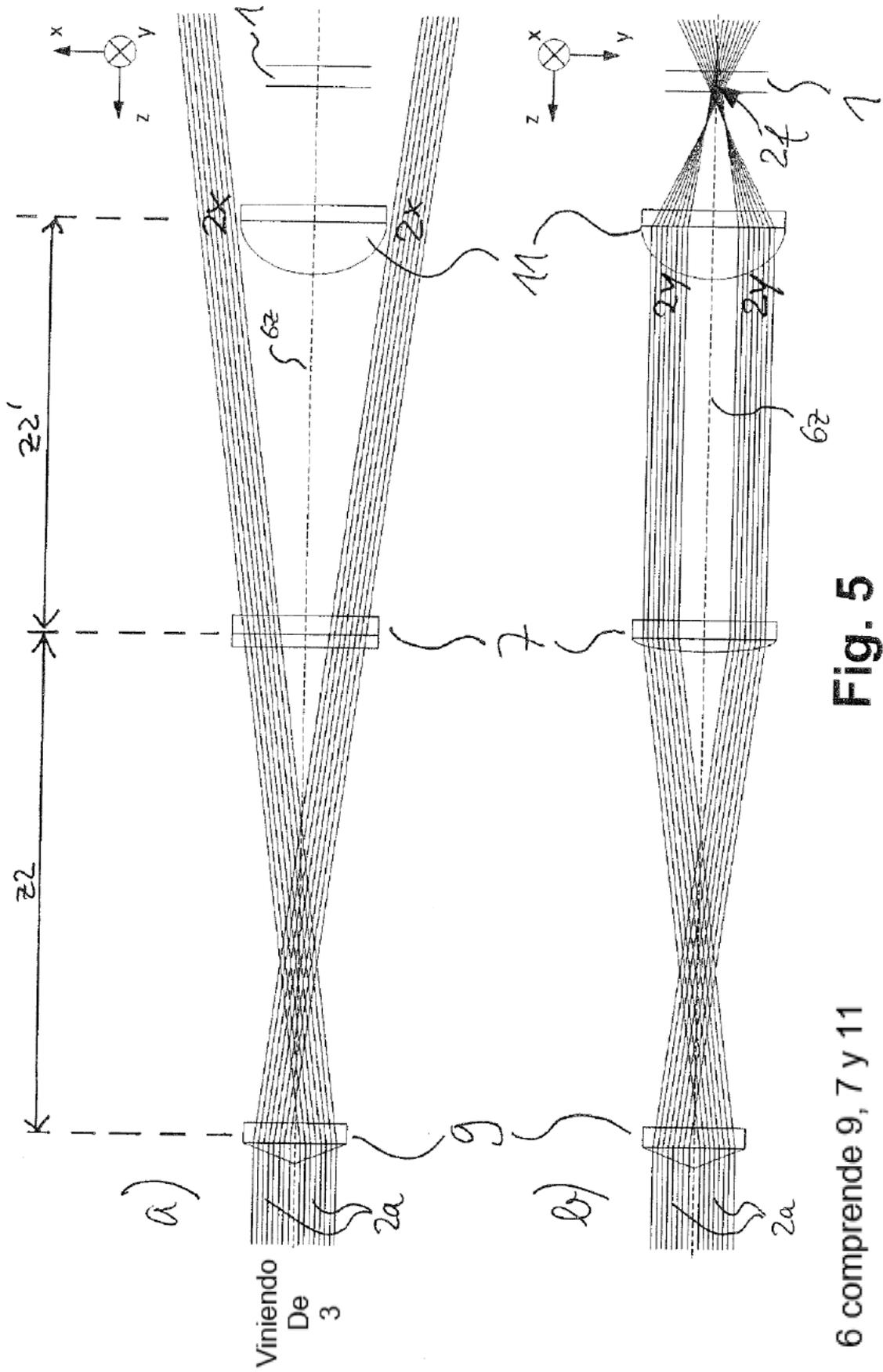


Fig. 5

6 comprende 9, 7 y 11

