

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 254**

51 Int. Cl.:

B23K 26/04 (2006.01)

B28D 5/00 (2006.01)

B23K 26/40 (2006.01)

B23K 26/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03777262 .1**

96 Fecha de presentación: **04.12.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1588793**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.10.2005**

54 Título: **Dispositivos de procesamiento con láser**

30 Prioridad:
05.12.2002 JP 2002354234

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.05.2012

73 Titular/es:
HAMAMATSU PHOTONICS K.K.
1126-1, ICHINO-CHO
HAMAMATSU-SHI, SHIZUOKA-KEN 435-8558, JP

72 Inventor/es:
FUKUYO, Fumitsugu;
FUKUMITSU, Kenshi y
OSAJIMA, Tetsuya

74 Agente/Representante:
Miltenyi, Peter

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).

ES 2 381 254 T3

DESCRIPCIÓN

Dispositivos de procesamiento con láser.

- 5 La presente invención se refiere a aparatos de procesamiento con láser para formar una zona modificada por absorción multifotónica en el interior de un objeto a procesar en forma de oblea según el preámbulo de las reivindicaciones 1, 2 y 3 respectivamente (véase, por ejemplo, US 4 861 964).

Antecedentes

- 10 Convencionalmente se conocen aparatos de procesamiento con láser que realizan un procesamiento, tal como el corte por fusión por irradiación de un objeto a procesar con luz láser. En general, este tipo de aparato de procesamiento con láser incluye un cabezal láser provisto de una lente condensadora para converger la luz láser sobre un objeto a procesar, mientras que en el lado de entrada de luz láser del cabezal láser se dispone un orificio de transmisión de luz como pupila de entrada para permitir que la luz láser incidente sobre la lente convergente tenga un diámetro fijo (véase, por ejemplo, la solicitud de patente Japonesa puesta a disposición del público nº HEI 5-212571 y la solicitud de modelo de utilidad Japonés puesta a disposición del público nº HEI 3-18.979).

- 20 US 4.861.964 A describe un sistema de marcado con láser para irradiar superficialmente un sustrato plano con un rayo láser de excímero. El sistema comprende un expansor de haz láser para producir un rayo de forma rectangular, una abertura en forma de ranura para bloquear una zona límite del rayo láser expandido, y una lente convexa cilíndrica para enfocar el rayo láser sobre el sustrato, en el que el sustrato se mantiene a una distancia de la lente que es aproximadamente igual a la distancia focal de la lente. La abertura queda separada del expansor de haz y está configurada de manera que la aberración esférica se suprime.

- 25 GB 1.087.534 A describe un útil de una máquina de corte con láser que varía el haz de salida de un láser en un haz de luz de sección transversal rectangular sin enfocar el haz resultante sobre la pieza de trabajo. El haz está configurado mediante una máscara antes de entrar en unas lentes cilíndricas que van sujetas mediante unos elementos de sujeción que están en contacto con la máscara.

- 30 JP 08-099187 A describe una cubierta de una lente que puede reducir la contaminación de una lente de transferencia sujeta en un elemento de sujeción de la lente, en la cual se monta una capucha cilíndrica en el elemento de sujeción de la lente para cubrir la parte lateral de la trayectoria óptica de un rayo láser que llega a la pieza de trabajo desde la lente de transferencia. En el lado frontal de la capucha se monta un diafragma de la lente. El rayo láser pasa por una máscara de modelado y es condensado y moldeado sobre la pieza de trabajo a través de la lente de transferencia, de manera que el patrón de modelado es transferido sobre la pieza de trabajo.

- 40 EP 1 110 661 A describe un aparato de trabajo con láser para realizar una ablación óptica, en el cual se irradia una máscara con luz láser, la cual se refleja sobre la pieza de trabajo.

Descripción de la Invención

- 45 En el aparato de procesamiento con láser mencionado anteriormente se emite luz láser con un tamaño de haz mayor que el diámetro de la pupila de entrada al orificio de transmisión de luz del cabezal láser, de modo que la luz láser cortada por una parte circundante del orificio de transmisión de luz calienta el cabezal láser, calentando de este modo la lente condensadora. Esto hace temer que el cabezal láser y la lente condensadora se dilaten, etc., cambiando de este modo la posición del punto de convergencia de luz láser respecto al objeto a procesar.

- 50 Dicho cambio en la posición del punto de convergencia de la luz se convierte en un problema particularmente grave en el procesamiento con láser en el cual se forma una zona modificada por absorción multifotónica en el interior de un objeto a procesar en forma de oblea. Esto se debe a que existe un caso en el cual se requiere controlar la posición de convergencia de la luz láser del orden de micras cuando por ejemplo se utiliza una oblea de silicio de 100 µm de grosor o menos como objeto a procesar.

- 55 A la vista de tales circunstancias, un objetivo de la presente invención es disponer un aparato de procesamiento con láser que pueda suprimir la fluctuación posicional en la posición de convergencia de la luz láser durante el procesamiento con láser a bajo nivel.

- 60 Para conseguir el objetivo mencionado anteriormente, el aparato de procesamiento con láser de acuerdo con la presente invención es un aparato de procesamiento con láser que presenta las características de las reivindicaciones 1, 2 ó 3.

En este aparato de procesamiento con láser, se emite una luz láser que tiene un tamaño de haz aumentado por el expansor de haz al segundo orificio de transmisión de luz del elemento de diafragma, de modo que la parte periférica exterior de la luz láser mayor que el segundo orificio de transmisión de luz se corta, con lo que la luz del láser atraviesa el segundo orificio de transmisión de luz mientras que se reduce el tamaño del haz. La luz láser que ha pasado por el segundo orificio de convergencia de luz se emite al primer orificio de transmisión de luz del elemento de sujeción de la lente, mientras que la luz láser que ha pasado por el primer orificio de transmisión de luz converge mediante la lente condensadora. El punto de convergencia de la luz queda situado en el interior del objeto a procesar en forma de oblea (es decir, delgado y plano), para así formar una zona modificada por absorción multifotónica dentro del objeto. Cuando se dispone un elemento de diafragma en una trayectoria óptica de la luz láser que conecta el expansor de haz y el primer orificio de transmisión de luz entre sí, la cantidad de luz láser cortada por la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz puede hacerse más pequeño que en el caso en el que la luz láser que tiene un tamaño de haz ampliado por el expansor de haz es emitido directamente al primer orificio de transmisión de luz del elemento de sujeción de la lente, de manera que el calentamiento del elemento de sujeción de la lente por la luz láser de cortada puede suprimirse. Además, incluso si el elemento de diafragma es calentado por la parte de la luz láser cortada por la parte circundante del segundo orificio de transmisión de luz, se impide que el calor se transmita del elemento de diafragma al elemento de sujeción de la lente, ya que el elemento de diafragma queda separado del elemento de sujeción de la lente. Por lo tanto, la fluctuación posicional en el punto de convergencia de luz láser debido principalmente al calentamiento del elemento de sujeción de la lente durante el procesamiento con láser puede suprimirse a bajo nivel, con lo cual la zona modificada puede formarse con precisión en una posición predeterminada dentro del objeto a procesar en forma de oblea.

Cuando la luz láser emitida desde el expansor de haz es luz paralela, el segundo orificio de transmisión de luz tiene un diámetro no mayor que el del primer orificio de transmisión de luz. Cuando la luz láser emitida desde el expansor de haz es luz completamente paralela, el diámetro de la luz láser que ha pasado por el segundo orificio de transmisión de luz del elemento de diafragma puede hacerse igual al del primer orificio de transmisión de luz si el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz y el del primer orificio de transmisión de luz son iguales.

Cuando la fuente de luz láser emite la luz láser a un diámetro de haz ϕ_0 y un ángulo de divergencia $2\theta_0$, y el expansor de haz incrementa el tamaño del haz de la luz láser según un aumento M y emite la luz láser en un ángulo de divergencia $2\theta_1$; suponiendo que d_1 es la distancia entre una parte de salida de la fuente de luz láser y una parte de entrada del expansor de haz, d_2 es la distancia entre una parte de salida del expansor de haz y una abertura de entrada del segundo orificio de transmisión de luz, y d_3 es la distancia entre la abertura de entrada del segundo orificio de transmisión de luz y una abertura de entrada del primer orificio de transmisión de luz; y siendo ϕ_L el diámetro del primer orificio de transmisión de luz, y siendo ϕ_S el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz; ϕ_L y ϕ_S cumplen la relación

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S$$

Cuando la luz láser emitida desde el expansor de haz es luz divergente, la luz láser apenas puede incidir en la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz si el diámetro ϕ_L del primer orificio de transmisión de luz y el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz cumplen la relación mencionada anteriormente. Por lo tanto, la cantidad de luz láser cortada por la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz puede eliminarse sustancialmente, de manera que el calentamiento del elemento de sujeción de la lente puede suprimirse adicionalmente.

Cuando la fuente de luz láser emite la luz láser a un diámetro del haz ϕ_0 y un ángulo de divergencia $2\theta_0$, y el expansor de haz incrementa el tamaño del haz de la luz láser según un aumento M y emite la luz láser en un ángulo de divergencia $2\theta_1$; suponiendo que d_1 es la distancia entre una parte de salida de la fuente de luz láser y una parte de entrada del expansor de haz, d_2 es la distancia entre una parte de salida del expansor de haz y una abertura de entrada del segundo orificio de transmisión de luz, y d_3 es la distancia entre la abertura de entrada del segundo orificio de transmisión de luz y una abertura de entrada del primer orificio de transmisión de luz; y siendo ϕ_L el diámetro del primer orificio de transmisión de luz, y siendo ϕ_S el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz; ϕ_L y ϕ_S cumplen la relación

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S$$

Cuando la luz láser emitida desde el expansor de haz es luz divergente, la luz láser apenas puede incidir en la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz si el diámetro ϕ_L del primer orificio de transmisión de luz y el

diámetro φ_S del segundo orificio de transmisión de luz cumplen la relación mencionada anteriormente. Por lo tanto, la cantidad de luz láser cortada por la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz puede eliminarse sustancialmente, de manera que el calentamiento del elemento de sujeción de la lente puede suprimirse adicionalmente.

5

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en planta de un objeto a procesar durante el procesamiento con láser mediante el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con una realización;

10 La figura 2 es una vista en sección del objeto según la línea II-II de la figura 1;

La figura 3 es una vista en planta del objeto después del procesamiento con láser mediante el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

La figura 4 es una vista en sección del objeto según la línea IV-IV de la figura 3;

La figura 5 es una vista en sección del objeto según la línea VV de la figura 3;

15 La figura 6 es una vista en planta del objeto cortado mediante el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

La figura 7 es una gráfica que muestra las relaciones entre la intensidad de campo y el tamaño del punto de la grieta en el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

20 La figura 8 es una vista en sección del objeto en una primera etapa del procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

La figura 9 es una vista en sección del objeto en una segunda etapa del procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

La figura 10 es una vista en sección del objeto en una tercera etapa del procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

25 La figura 11 es una vista en sección del objeto en una cuarta etapa del procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

La figura 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección transversal de una parte de una oblea de silicio cortada mediante el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

30 La figura 13 es una gráfica que muestra las relaciones entre la longitud de onda de la luz láser y la transmitancia en el interior del sustrato de silicio en el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la realización;

La figura 14 es un diagrama esquemático de un aparato de procesamiento con láser de acuerdo con la invención;

La figura 15 es una vista ampliada que muestra una parte principal del aparato de procesamiento con láser mostrado en la figura 14;

35 La figura 16 es una gráfica que muestra las relaciones entre el tiempo transcurrido tras comenzar el procesamiento con láser y la temperatura elevada en el aparato de procesamiento con láser mostrado en la figura 14;

La figura 17 es un diagrama esquemático que muestra una parte principal del aparato de procesamiento con láser de acuerdo con la invención en un caso en el que la luz láser emitida desde el expansor de haz es luz divergente; y

La figura 18 es un diagrama esquemático que muestra una parte principal del aparato de procesamiento con láser de acuerdo con la invención en un caso en el que la luz láser emitida desde el expansor de haz es luz convergente.

40

Mejores modos de llevar a cabo la invención

A continuación se explicará en detalle, con referencia a los dibujos, una realización preferida del aparato de procesamiento con láser de acuerdo con la presente invención.

45

El aparato de procesamiento con láser de acuerdo con esta realización irradia un objeto a procesar en forma de oblea, mientras se sitúa un punto de convergencia de la luz en el interior del objeto, para así formar una zona modificada por absorción multifotónica en el interior del objeto. Por lo tanto, antes de explicar el aparato de procesamiento con láser de acuerdo con esta realización, se explicará la formación de una zona modificada por absorción multifotónica.

50

Un material se vuelve transparente cuando su banda prohibida de absorción E_G es mayor que la energía fotónica $h\nu$. Por lo tanto, un estado bajo el cual se produce absorción en el material es que $h\nu > E_G$. Sin embargo, incluso si es ópticamente transparente, el material genera absorción bajo la condición de que $nh\nu > E_G$ (donde $n = 2, 3, 4, \dots$) si la intensidad de la luz láser llega a ser muy alta. Este fenómeno se conoce como absorción multifotónica. En el caso de ondas pulsadas, la intensidad de la luz láser viene determinada por la densidad de potencia máxima (W/cm^2) de la luz láser en un punto de convergencia de la luz. La absorción multifotónica se produce, de acuerdo con la presente invención, bajo un estado en el que la densidad de potencia máxima es de 1×10^8 (W/cm^2) o mayor. La densidad de potencia máxima viene determinada por (energía de luz láser en el punto de convergencia de la luz por pulso)/(área de la sección transversal del punto del haz de la luz láser $\times$ ancho de pulso). En el caso de ondas continuas, la intensidad de la luz láser viene determinada por la intensidad del campo (W/cm^2) de la luz láser en el punto de convergencia de la luz.

55

60

El principio del procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con la invención utilizando dicha absorción multifotónica se explicará con referencia a las figuras 1 a 6. La figura 1 es una vista en planta de un objeto a procesar 1 durante el procesamiento con láser. La figura 2 es una vista en sección del objeto 1 según la línea II-II de la figura 1. La figura 3 es una vista en planta del objeto 1 después del procesamiento con láser. La figura 4 es una vista en sección del objeto 1 según la línea IV-IV de la figura 3. La figura 5 es una vista en sección del objeto según la línea VV de la figura 3. La figura 6 es una vista en planta del objeto cortado 1.

Tal como se muestra en las figuras 1 y 2, en una cara delantera 3 del objeto 1 existe una línea de corte 5 para cortar el objeto 1. La línea de corte 5 es una línea virtual que se extiende recta (o puede dibujarse realmente una línea en el objeto 1 como línea de corte 5). El procesamiento con láser de acuerdo con esta realización irradia el objeto 1 con luz láser L, mientras se sitúa un punto de convergencia de luz P en el interior del objeto 1 bajo un estado en el cual se genera una absorción multifotónica para así formar una zona modificada 7. El punto de convergencia de luz P es una posición en la cual la luz láser L converge.

La luz láser L se mueve relativamente a lo largo de la línea de corte 5 (es decir, en la dirección de la flecha A), para desplazar el punto de convergencia de luz P a lo largo de la línea de corte 5. En consecuencia, tal como se muestra en las figuras 3 a 5, la zona modificada 7 está formada a lo largo de la línea de corte 5 sólo en el interior del objeto 1, mientras que una parte a cortar 8 está formada por la zona modificada 7. En el procedimiento de procesamiento con láser de acuerdo con esta realización, la zona modificada 7 no está formada por el calor que se genera desde el objeto 1 que absorbe la luz láser L. La luz láser L se transmite a través del objeto 1, para así generar en el interior del mismo una absorción multifotónica, formándose de este modo la zona modificada 7. Por lo tanto, la cara delantera 3 del objeto 1 apenas absorbe la luz láser L y no se funde.

Cuando existe un punto de partida en una parte de corte en el momento de cortar el objeto 1, el objeto 1 se rompe desde el punto de partida, de modo que el objeto 1 puede cortarse con una fuerza relativamente pequeña, tal como se muestra en la figura 6. Por lo tanto, el objeto 1 puede cortarse sin generar fracturas innecesarias en la cara delantera 3 del objeto 1.

Al parecer, existen las siguientes dos maneras de cortar el objeto a partir de la parte a cortar actuando como punto de partida. El primer caso es cuando se aplica una fuerza artificial al objeto después de formar la parte a cortar, de modo que el objeto se fractura desde la parte a cortar, cortándose de este modo el objeto. Este es el corte en el caso en que el objeto tiene un gran espesor, por ejemplo. La aplicación de una fuerza artificial se refiere a ejercer un esfuerzo de flexión o un esfuerzo cortante al objeto a lo largo de la parte a cortar, o a generar una tensión térmica mediante la aplicación de una diferencia de temperatura al objeto, por ejemplo. El otro caso es cuando la formación de la parte a cortar provoca que el objeto se fracture de manera natural en la dirección de su sección transversal (dirección del espesor) desde la parte a cortar actuando como punto de partida, cortándose de este modo el objeto. Esto es posible si la parte a cortar está formada por una fila de la zona modificada cuando el objeto tiene poco espesor, o si la parte a cortar está formada por una pluralidad de filas de la zona modificada en la dirección del espesor cuando el objeto tiene un gran espesor. Incluso en este caso de fractura natural, las fracturas no se extienden sobre la cara delantera en una parte correspondiente a un área no formada con la parte a cortar, de modo que sólo puede separarse la parte correspondiente al área formada con la parte a cortar, de manera que la separación puede controlarse bien. Dicho procedimiento de separación con una controlabilidad favorable resulta muy efectivo, ya que recientemente ha podido reducirse el grosor del objeto a procesar tal como una oblea de silicio.

La zona modificada formada por absorción multifotónica en esta realización comprende los siguientes casos (1) a (3):

(1) Caso en que la zona modificada es una zona de grietas que incluye una grieta o una pluralidad de grietas.

Un objeto a procesar (por ejemplo, vidrio o un material piezoeléctrico realizado en LiTaO_3) se irradia con luz de láser mientras se sitúa un punto de convergencia de la luz en su interior bajo un estado con una intensidad de campo de por lo menos $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ en el punto de convergencia de la luz y un ancho de pulso de $1 \mu\text{s}$ o menos. Esta magnitud de ancho de pulso es un estado bajo el cual puede formarse una zona de grietas sólo dentro del objeto mientras que se genera absorción multifotónica sin causar daños innecesarios en la cara delantera del objeto. Esto genera un fenómeno de daños ópticos por absorción multifotónica dentro del objeto. Este daño óptico induce una distorsión térmica en el interior del objeto, formando con ello una zona de grietas en su interior. El límite superior de la intensidad de campo es de $1 \times 10^{12} \text{ (W/cm}^2\text{)}$, por ejemplo. El ancho de pulso es preferentemente de 1 a 200 ns, por ejemplo. La formación de una zona de grietas por absorción fotónica se describe, por ejemplo, en "*Internal Marking of Glass Substrate with Solid-state Laser*", Actas de la 45ª *Laser Materials Processing Conference* (Diciembre de 1998), págs. 23-28.

Los inventores determinaron la relación entre la intensidad de campo y el tamaño de grieta mediante un experimento. A continuación se indican las condiciones del experimento.

- (A) Objeto a procesar: vidrio Pyrex (marca registrada) (con un espesor de 700 μm)
 (B) Láser
 fuente de luz: bombeo láser semiconductor láser Nd: YAG
 longitud de onda: 1064 nm
 área en sección transversal del punto de luz láser: $3,14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$
 modo de oscilación: pulso Q-conmutado
 frecuencia de repetición: 100 kHz
 ancho de pulso: 30 ns
 salida: salida <1 mJ/pulso
 calidad de la luz láser: TEM_{00}
 propiedad polarizante: polarización lineal
 (C) lente condensadora
 transmitancia a una longitud de onda de la luz láser: 60%
 (D) velocidad de movimiento de la mesa de montaje donde se dispone el objeto: 100 mm/seg

La calidad de la luz láser TEM_{00} significa que la característica de convergencia de la luz es tan alta que es posible la convergencia a aproximadamente la longitud de onda de la luz láser.

La figura 7 es una gráfica que muestra los resultados del experimento mencionado anteriormente. El eje de abscisas indica la densidad de potencia máxima. Como que la luz láser es luz láser pulsada, la intensidad de campo se representa por la densidad de potencia máxima. Las ordenadas indican el tamaño de una parte de la grieta (punto de grieta) formada en el interior del objeto por un pulso de luz láser. Los puntos de grieta se reúnen para dar lugar a una zona de grietas. El tamaño del punto de grieta es el tamaño de una parte que da lugar a la longitud máxima entre formas de puntos de grieta. Los datos representados por círculos negros en la gráfica se refieren a un caso en el que la lente condensadora (C) tiene un aumento de x100 y una apertura numérica (AN) de 0,80. Por otra parte, los datos representados por círculos blanquecinos en la gráfica se refieren a un caso en el que la lente condensadora (C) tiene un aumento de x50 y una apertura numérica (AN) de 0,55. Se aprecia que los puntos de grieta se producen en el objeto a partir de cuando la densidad de potencia máxima es de aproximadamente $10^{11} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ y aumentan mayor a medida que aumenta la densidad de potencia máxima.

A continuación se explicará con referencia a las figuras 8 a 11 un mecanismo mediante el cual se corta el objeto a procesar formando una zona de grietas. Tal como se muestra en la figura 8, el objeto 1 se irradia con luz láser L, mientras que el punto de convergencia de la luz P se encuentra en el interior del objeto 1 bajo un estado en el cual se produce absorción multifotónica, para así formar una zona grietas 9 en su interior a lo largo de una línea de corte. La zona de grietas 9 es una zona que contiene una grieta o una pluralidad de grietas. La zona de grietas 9 forma una parte a cortar. Tal como se muestra en la figura 9, una grieta crece más desde la zona de grietas 9 actuando como punto de partida (es decir, desde la parte a cortar que actúa como punto de partida), y llega a la cara delantera 3 y a la cara posterior 17 del objeto 1 tal como se muestra en la figura 10, con lo que el objeto 1 se fractura y por lo tanto se corta tal como se muestra en la figura 11. La grieta que llega a la cara delantera 3 y la cara posterior 17 del objeto 1 puede crecer de manera natural o a medida que se aplique una fuerza al objeto 1.

(2) Caso en que la zona modificada es una zona tratada fundida

Un objeto a procesar (por ejemplo, un material semiconductor tal como silicio) se irradia con luz láser, mientras se sitúa un punto de convergencia de luz en el interior del objeto bajo un estado con una intensidad de campo de por lo menos $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ en el punto de convergencia de la luz y un ancho de pulso de 1 μs o menos. Como consecuencia, el interior del objeto se calienta localmente por absorción multifotónica. Este calentamiento forma una zona tratada fundida dentro del objeto. La zona tratada fundida comprende zonas fundidas una vez y resolidificadas después, zonas justo en estado fundido, y zonas en proceso de ser resolidificadas a partir del estado fundido, y pueden denominarse también como una zona cuya fase ha cambiado o una zona cuya estructura cristalina ha cambiado. La zona tratada fundida también puede denominarse como zona en la cual una determinada estructura cambia a otra estructura entre estructuras monocristalinas, amorfas y policristalinas. Esto significa, por ejemplo, una zona que ha cambiado de estructura monocristalina a estructura amorfa, una zona que ha cambiado de estructura monocristalina a estructura policristalina, o una zona que ha cambiado de estructura monocristalina a una estructura que contiene estructuras amorfas y policristalinas. Cuando el objeto a procesar es una estructura de silicio monocristalino, la zona tratada fundida es una estructura de silicio amorfo, por ejemplo. El límite superior de la intensidad de campo es de $1 \times 10^{12} \text{ (W/cm}^2\text{)}$, por ejemplo. El ancho de pulso es preferentemente de 1 a 200 ns, por ejemplo.

Mediante un experimento, los inventores comprobaron que se formó una zona tratada fundida en el interior de una oblea de silicio. A continuación se indican las condiciones del experimento.

(A) Objeto a procesar: oblea de silicio (con un espesor de 350 μm y un diámetro exterior de 4 pulgadas)

(B) Láser

fuentes de luz: bombeo láser semiconductor láser Nd: YAG

longitud de onda: 1064 nm

área en sección transversal del punto de luz láser: $3,14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$

modo de oscilación: pulso Q-conmutado

frecuencia de repetición: 100 kHz

ancho de pulso: 30 ns

salida: 20 μJ /pulso

calidad de la luz láser: TEM₀₀

propiedad polarizante: polarización lineal

(C) lente condensadora

aumento: x50

AN: 0,55

transmitancia a una longitud de onda de la luz láser: 60%

(D) velocidad de movimiento de la mesa de montaje donde se dispone el objeto: 100 mm/seg.

La figura 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección transversal de una parte de una oblea de silicio cortada por procesamiento con láser en las condiciones mencionadas anteriormente. En el interior de la oblea de silicio 11 se forma una zona tratada fundida 13. La zona tratada fundida 13 formada bajo las condiciones mencionadas anteriormente tiene un tamaño de aproximadamente 100 μm en la dirección del grosor.

A continuación se explicará el hecho de que la zona tratada fundida 13 se forme por absorción multifotónica. La figura 13 es una gráfica que muestra relaciones entre la longitud de onda de la luz láser y la transmitancia en el sustrato de silicio. Aquí, los respectivos componentes reflejados en el lado frontal y trasero del sustrato de silicio se han eliminado para mostrar solamente la transmitancia interna. Las relaciones respectivas se muestran en los casos en que el grosor t del sustrato de silicio es 50 μm , 100 μm , 200 μm , 500 μm , y 1000 μm .

Por ejemplo, a la longitud de onda del láser Nd: YAG de 1064 nm, la luz láser parece transmitirse a través del sustrato de silicio por lo menos un 80% cuando el sustrato de silicio tiene un espesor de 500 μm o menos. Como que la oblea de silicio 11 que se muestra en la figura 12 tiene un espesor de 350 μm , la zona tratada fundida 13 producida por absorción multifotónica se forma cerca del centro de la oblea de silicio 11, es decir, en una parte alejada de la cara delantera 175 μm . La transmitancia en este caso es de un 90% o más respecto a una oblea de silicio con un espesor de 200 μm , de modo que la luz láser se absorbe sólo ligeramente en el interior de la oblea de silicio 11, pero se transmite sustancialmente a través de la misma. Esto significa que la zona tratada fundida 13 se forma en el interior de la oblea de silicio 11 no por absorción de la luz láser dentro de la oblea de silicio 11 (es decir, no por el calentamiento habitual con la luz láser) sino por absorción multifotónica. La formación de una zona tratada fundida por absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en "Silicon Processing Characteristic Evaluation by Picosecond Pulse Laser", Ediciones preliminares de *National Meetings of Japan Welding Society*, Vol. 66 (Abril de 2000), págs. 72-73.

En una oblea de silicio se genera una fractura desde una parte a cortar formada por una zona tratada fundida, que actúa de punto de partida, hacia una sección transversal, y llega a la cara frontal y posterior de la oblea de silicio, de modo que la oblea de silicio se corta. La fractura que alcanza la cara frontal y posterior de la oblea de silicio puede crecer de manera natural o a medida que se aplica una fuerza a la oblea de silicio. El crecimiento natural de la fractura desde la parte a cortar hacia la cara frontal y posterior de la oblea de silicio comprende un caso en el que la fractura crece desde un estado en el que la zona tratada fundida que forma la parte a cortar se funde y un caso en el que la fractura aumenta cuando la zona tratada fundida que forma la parte a cortar se resolidificada desde el estado fundido. En cualquier caso, la zona tratada fundida se forma sólo en el interior de la oblea de silicio, y por lo tanto sólo está presente dentro de la sección de corte después del corte, tal como se muestra en la figura 12. Cuando en el interior del objeto se forma una parte a cortar por una zona tratada fundida como tal, es difícil que se produzcan fracturas innecesarias que se desvíen de la línea de corte en el momento de la separación, de modo que el control de la separación resulta más fácil.

(3) Caso en que la zona modificada es una zona de cambio de índice de refracción

Un objeto a procesar (por ejemplo, vidrio) se irradia con luz de láser, mientras se sitúa un punto de convergencia de luz dentro del objeto bajo un estado con una intensidad de campo de por lo menos $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$ en el punto de convergencia de la luz y un ancho de pulso de 1 ns o menos. Cuando la absorción multifotónica se genera en el interior del objeto con un ancho de pulso muy pequeño, la energía producida por absorción multifotónica no se convierte en energía térmica, de manera que se induce un cambio estructural eterno tal como cambio de valencia iónica, cristalización, o polarización de la orientación en el interior del objeto, formándose así una zona de cambio

del índice de refracción. El límite superior de la intensidad de campo es de 1×10^{12} (W/cm²), por ejemplo. La anchura de impulso es preferiblemente de 1 ns o menos, por ejemplo, más preferiblemente de 1 ps o menos. La formación de una zona de cambio de índice de refracción por absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en "*Forming of Photoinduced Structure within Glass by Femtosecond Laser Irradiation*", Actas de la 42ª *Laser Materials Processing Conference* (Noviembre de 1997), págs.105-111.

A continuaci se explicará un aparato de procesamiento con láser de acuerdo con la invención con referencia a las figuras 14 y 15.

Tal como se muestra en la figura 14, un aparato de procesamiento con láser 20 es un aparato que irradia un objeto a procesar en forma de oblea 1 con luz láser de procesamiento L1, mientras se sitúa un punto de convergencia de la luz P1 en el interior del objeto 1, para así formar una zona modificada 7 por absorción multifotónica dentro del objeto 1, y que provoca que la zona modificada 7 forme una parte a cortar 8 que se extiende a lo largo de la cara delantera 3 del objeto 1. Aquí, el objeto 1 es una oblea de semiconductor tal como una oblea de silicio, mientras que la zona modificada 7 es una zona tratada fundida.

El aparato de procesamiento con láser 20 incluye una base 21 sobre la cual va montado el objeto 1, mientras que la base 21 puede moverse a lo largo de los ejes X, Y y Z, en los que el eje Z se extiende verticalmente. Por encima de la base 21 se dispone una carcasa 23 que aloja una fuente de luz láser 22 para generar luz láser de procesamiento L1 y similar. Por ejemplo, la fuente de luz láser 22 es un láser Nd: YAG, y emite luz láser de procesamiento L1, que es luz láser pulsada que tiene un ancho de pulso de 1 μ m o menos, al objeto 1 sobre la base 21 situada justo debajo la fuente de luz láser 22.

En la cara extrema inferior de la carcasa 23 hay acoplado un revólver motorizado 24 y lleva un objetivo de observación 26 y un objetivo de procesamiento 27 para converger la luz láser de procesamiento L. A medida que el revólver motorizado 24 gira, los respectivos ejes ópticos de los objetivos 26, 27 se alinean con el eje óptico de la luz láser de procesamiento L1. Entre el objetivo de procesamiento 27 y el revólver motorizado 24 queda dispuesto un accionador 28 que utiliza un dispositivo piezoeléctrico, con el cual se regula la posición del objetivo de procesamiento 27 minuciosamente a lo largo del eje Z (en direcciones verticales) mediante el accionador 28.

Tal como se muestra en la figura 15, el objetivo de procesamiento 27 incluye un elemento de sujeción de la lente cilíndrico 29, mientras que el elemento de sujeción de la lente 29 sujeta en el interior del mismo una lente condensadora 31 que tiene una apertura numérica de "0,80" constituida por una pluralidad de lentes. En una parte extrema superior del elemento de sujeción de la lente 29 hay formado un primer orificio de transmisión de luz 32 que actúa de pupila de entrada, mientras que en una parte extrema inferior del elemento de sujeción de la lente 29 hay formada una abertura de salida 33 para la luz láser de procesamiento L1. El objetivo de procesamiento 27 configurado de este modo converge la luz láser de procesamiento L1, de modo que la densidad de potencia máxima de la luz láser de procesamiento L1 en el punto de convergencia de la luz P1 producida por la lente condensadora 31 es de 1×10^8 (W/cm²) o mayor.

En el eje óptico de la luz láser de procesamiento L1 en el interior de la carcasa 23 se dispone sucesivamente un expansor de haz 34 para aumentar el tamaño del haz de la luz láser L1 generada en la fuente de luz láser 22, un sistema óptico de regulación de la luz láser 36 para ajustar la salida y la polarización de la luz láser L1, un obturador electromagnético 37 para dejar pasar o bloquear la luz láser L1, y un elemento de diafragma 38 para reducir el tamaño del haz de la luz láser L1, del lado superior al lado inferior en este orden, tal como se muestra en la figura 14. El expansor de haz 34 emite la luz láser L1 como luz sustancialmente paralela.

Tal como se muestra en la figura 15, el elemento de diafragma 38 está acoplado a la carcasa 23 en una posición por encima del primer orificio de transmisión de luz 32 del objetivo de procesamiento 27, mientras se tiene un segundo orificio de transmisión de luz 39 como abertura para reducir y dejar pasar la luz láser L1 en el eje óptico de la de luz láser de procesamiento L1. El segundo orificio de transmisión de luz 39 está formado con el mismo diámetro que el del primer orificio de transmisión de luz 32 del objetivo de procesamiento 27, mientras que el eje central del segundo orificio de transmisión de luz 39 puede quedar alineado con precisión con el del primer orificio de transmisión de luz 32 mediante un tornillo de ajuste 35 unido al elemento de diafragma 38. Por lo tanto, en la luz láser de procesamiento L1 que tiene un tamaño del haz aumentado por el expansor de haz 34, la parte periférica exterior mayor que el segundo orificio de transmisión de luz 39 es cortada por el elemento de diafragma 38, de modo que el diámetro de la luz láser de procesamiento L1 transmitida a través del segundo orificio de transmisión de luz 39 es igual al del primer orificio de transmisión de luz 32 del objetivo de procesamiento 27. Cuando la luz láser L1 emitida desde el expansor de haz 34 no es luz completamente paralela, sino luz sustancialmente paralela que se expande ligeramente, será suficiente que el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz 39 se haga más pequeño que el del primer orificio de transmisión de luz 32 de manera que la luz láser apenas incida sobre la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz 32 en vista de la expansión de la luz láser L1.

Tal como se muestra en la figura 14, para que la distancia entre el objetivo de procesamiento 27 y la cara delantera 3 del objeto 1 se mantenga siempre constante durante el procesamiento con láser, el aparato de procesamiento con láser 20 incluye, además, en el interior de la carcasa 23 una fuente de luz de telemetría 41, tal como diodo láser para generar luz láser de telemetría y un dispositivo de detección de posición cuadrante 42 en el cual un diodo queda igualmente dividido en cuatro.

Concretamente, la luz láser de telemetría emitida desde la fuente de luz de telemetría 41 pasa sucesivamente por un orificio 43 y un expansor de haz 44, y a continuación es reflejada sucesivamente por un espejo 46 y un medio espejo 47 para ser guiada hacia un espejo dicróico 48 dispuesto entre el obturador electromagnético 37 y el elemento de diafragma 38. La luz láser de telemetría reflejada por el espejo dicróico 48 avanza hacia abajo en el eje óptico de la luz láser de procesamiento L1 para así pasar por el segundo orificio de transmisión de luz 39 del elemento de diafragma 38 y, a continuación converger mediante la lente condensadora 31 del objetivo de procesamiento 27, para así irradiar el objeto 1. La luz láser de procesamiento L1 se transmite a través del espejo dicróico 48.

La luz reflejada de la luz láser de telemetría reflejada por la cara delantera 3 del objeto 1 se hace incidir sobre la lente condensadora 31 del objetivo procesamiento 27 de nuevo, para así avanzar hacia arriba en el eje óptico de la luz láser de procesamiento L1 y pasar por el segundo orificio de transmisión de luz 39 del elemento de diafragma 38 y, a continuación se refleja en el espejo dicróico 48. La luz reflejada de la luz láser de telemetría reflejada por el espejo dicróico 48 pasa a través del medio espejo 47, y luego converge mediante un sistema óptico de conformación 49 constituido por una lente cilíndrica y una lente planoconvexa, para así irradiar el dispositivo de detección de la posición cuadrante 42.

El patrón imagen de luz convergente de la luz láser de telemetría en el dispositivo de detección de la posición cuadrante 42 varía en función de la distancia entre el objetivo de procesamiento 27 y la cara delantera 3 del objeto 1. Este aparato de procesamiento con láser 20 controla por realimentación el actuador 28 de manera que la distancia entre el objetivo de procesamiento 27 y la cara delantera 3 del objeto 1 es siempre constante durante el procesamiento con láser de acuerdo con el patrón de imagen de luz convergente en el dispositivo de detección de la posición cuadrante 42, con lo que la posición del objetivo de procesamiento 27 se regula minuciosamente a lo largo del eje vertical.

Además, para observar el objeto 1 montado en la base 21, el aparato de procesamiento con láser 20 tiene una fuente de luz de observación 51 para generar luz de observación visible en el exterior de la carcasa 23, y una cámara CCD 52 en el interior de la carcasa 23.

En particular, la luz visible de observación emitida desde la fuente de luz de observación 51 es guiada hacia la carcasa 23 por una guía de luz 53 realizada en fibra óptica, de modo que pasa en serie por un diafragma de campo 54, un diafragma de apertura 56, un espejo dicróico 57, y similares, y luego se refleja en un espejo dicróico 58 dispuesto entre el elemento de diafragma 38 y el primer orificio de transmisión de luz 32 del objetivo de procesamiento 27. La luz visible de observación reflejada avanza hacia abajo en el eje óptico de luz láser de procesamiento L1, y pasa por el objetivo de observación 26 dispuesto en el eje óptico de la luz láser de procesamiento L1 a medida que el revólver motorizado 24 gira, para así irradiar el objeto 1. La luz láser de procesamiento L1, la luz láser de telemetría, y su luz reflejada se transmiten a través del espejo dicróico 58.

La luz reflejada de la luz visible de observación reflejada por la cara delantera 3 del objeto 1 se hace incidir de nuevo sobre el objetivo de observación 26 para así avanzar hacia arriba en el eje óptico de la luz láser de procesamiento L1, y se refleja por el espejo dicróico 58. La luz reflejada por el espejo dicróico 58 se refleja además por el espejo dicróico 57, para así pasar por un filtro, una lente de proyección de imagen 61, y una lente de relé 62 en serie, entrando de este modo en la cámara CCD 52.

Los datos de formación de imágenes captados por la cámara CCD 52 son tomados en un controlador general 63, en el cual se visualiza una imagen de la cara delantera 3 del objeto 1 o similar en un monitor de TV 64 mediante el controlador general 63. El controlador general 63 ejecuta diversos tipos de procesamiento, y regula no sólo el movimiento de la base 21, el giro del revólver motorizado 24, la apertura/cierre del obturador electromagnético 37, la formación de imágenes mediante la cámara CCD 52, etc. sino también operaciones del aparato de procesamiento con láser 20 en general.

A continuación se explicará un procedimiento de procesamiento con láser mediante el aparato de procesamiento con láser 20 mencionado anteriormente. Primero se monta el objeto 1 en la base 21. Después, la base 21 se mueve de manera que una posición en la que se inicia la formación de una zona modificada 7 en el objeto 1 coincide con el punto de convergencia de la luz P1 de luz láser de procesamiento L1. La distancia entre el objetivo de procesamiento 27 y la cara delantera 3 del objeto 1 en este instante puede determinarse de acuerdo con el grosor y el índice de refracción del objeto 1.

Posteriormente, se hace que la fuente de luz láser 22 emita la luz láser de procesamiento L1 hacia el objeto 1. Como que el punto de convergencia de la luz P1 se encuentra situado a una distancia predeterminada dentro de la cara delantera 3 del objeto 1 en ese instante, la zona modificada 7 se forma en el interior del objeto 1. Entonces, la base 21 se mueve a lo largo de una línea de corte a lo largo de los ejes X e Y, de modo que la zona modificada 7 forma una parte a cortar 8 que se extiende a lo largo de la cara delantera 3 del objeto 1.

Durante la formación de la parte a cortar 8, el actuador 28 regula minuciosamente la posición del objetivo de procesamiento 27 a lo largo del eje vertical de manera que la distancia entre el objetivo de procesamiento 27 y la cara delantera 3 del objeto 1 se vuelve constante de acuerdo con el patrón de imagen de luz convergente de luz reflejada de la luz láser de telemetría en el dispositivo de detección de posición cuadrante 42. Por lo tanto, incluso cuando la cara delantera 3 del objeto 1 se tambalea o la base 21 vibra, la distancia entre el objetivo de procesamiento 27 y la cara delantera 3 del objeto 1 se mantiene constante. Por lo tanto, la parte a cortar puede formarse con precisión 8 a una distancia predeterminada en el interior de la cara delantera 3 del objeto 1.

En el aparato de procesamiento con láser 20, tal como se ha explicado anteriormente, el elemento de diafragma 38 provisto del segundo orificio de transmisión de luz 39 que tiene el mismo diámetro que el primer orificio de transmisión de luz 32 en el elemento de sujeción de la lente 29 se dispone en la trayectoria óptica de la luz láser de procesamiento L1 conectando entre sí el expansor de haz 34 y el primer orificio de transmisión de luz 32. Por lo tanto, en la luz láser de procesamiento L1 que tiene un tamaño de haz aumentado por el expansor de haz 34, la parte periférica exterior mayor que el segundo orificio de transmisión de luz 39 es cortada por el elemento de diafragma 38, de modo que el diámetro de la luz láser de procesamiento L1 transmitida a través del segundo orificio de transmisión de luz 39 es sustancialmente igual al del primer orificio de transmisión de luz 32 en el elemento de sujeción de la lente. Por lo tanto, la cantidad de luz láser L1 que es cortada por la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz 32 puede eliminarse sustancialmente, mediante lo cual puede evitarse que la luz láser de procesamiento L1 caliente el elemento de sujeción de la lente 29. Además, incluso cuando el elemento de diafragma 38 se calienta por la luz láser L1 cortada por la parte circundante del segundo orificio de transmisión de luz 39, se impide que el calor se transmita desde el elemento de diafragma 38 al elemento de sujeción de la lente 29, ya que el elemento de diafragma 38 queda separado del elemento de sujeción de la lente 29, de acuerdo con la presente invención. Por lo tanto, la fluctuación posicional en el punto de convergencia de luz P1 de la luz láser de procesamiento L1 debido principalmente al calentamiento del elemento de sujeción de la lente 29 durante el procesamiento con láser puede suprimirse a bajo nivel, de manera que la zona modificada 7 puede formarse con precisión en una posición predeterminada en el interior del objeto 1.

La figura 16 es una gráfica que muestra relaciones entre el tiempo transcurrido después de comenzar el procesamiento con láser y el aumento de temperatura en el elemento de sujeción de la lente. Tal como se muestra en esta gráfica, al disponer el elemento de diafragma 39, el aparato de procesamiento con láser 20 puede reducir el aumento de temperatura en el elemento de sujeción de la lente 29 tras 30 minutos desde el inicio del procesamiento con láser tanto como 1° C en comparación con el caso sin el elemento de diafragma 39.

Para generar absorción fotónica en el objeto 1 se requiere que la densidad de potencia máxima de la luz láser de procesamiento L1 en el punto de convergencia de luz P1 sea elevada, por ejemplo, 1×10^8 (W/cm²) o mayor, mientras que se requiere que la zona modificada 7 generada por absorción multifotónica sea muy pequeña ya que el objeto 1 tiene forma de oblea. Para formar dicha zona modificada 7, es necesario utilizar una lente condensadora 31 que tenga una gran apertura numérica, por ejemplo, "0,80", lo que hace necesario aumentar el diámetro de la pupila de entrada de la lente condensadora 31, es decir, el diámetro del primer orificio de transmisión de luz 32. Al disponer el expansor de haz 34, el aparato de procesamiento con láser 20 puede aumentar suficientemente el tamaño del haz de la luz láser de procesamiento L1 generada por la fuente de luz láser 22 para hacer que corresponda al diámetro aumentado del primer orificio de transmisión de luz 32.

Aunque la realización mencionada anteriormente se refiere a un caso en el que la luz láser L1 emitida desde el expansor de haz 34 es luz sustancialmente paralela, ésta puede ser luz divergente o luz convergente también.

En primer lugar se explicará un caso en el que la luz láser emitida L1 desde el expansor de haz 34 es luz divergente. Supóngase que la fuente de luz láser 22 emite luz láser L1 a un diámetro de haz ϕ_0 y un ángulo de divergencia $2\theta_0$, y que el haz de expansión 34 incrementa el tamaño del haz de la luz láser según un aumento M y emite la luz láser L1 en un ángulo de divergencia $2\theta_1$. También, tal como se muestra en la figura 17, supóngase que d_1 es la distancia entre la parte de salida 22a de la fuente de luz láser 22 y la parte de entrada 34a del expansor de haz 34, d_2 es la distancia entre la parte de salida 34b del expansor de haz 34 y la abertura de entrada 39a del segundo orificio de transmisión de luz 39, y d_3 es la distancia entre la abertura de entrada 39a del segundo orificio de transmisión de luz 39 y la abertura de entrada 32a del primer orificio de transmisión de luz 32.

Aquí, el diámetro del haz de la luz láser L1 en la parte de entrada 34a del expansor de haz 34 es " $\phi_0 + 2d_1 \cdot \tan \theta_0$ ", en el que el diámetro del haz ϕ_1 de la luz láser L1 en la parte de salida 34b del expansor de haz 34 viene representado por la siguiente expresión (1):

$$\phi_1 = M (\phi_0 + 2d_1 \cdot \tan \theta_0) \quad (1)$$

Suponiendo que no hay haz expansor 34 aquí, la distancia d_4 entre una posición de la fuente de luz de un punto virtual Q que emite la luz láser L1 logrando un diámetro de haz ϕ_1 y un ángulo de divergencia $2\theta_1$ en la posición de la parte de salida 34b del expansor de haz 34 y la parte de salida 34b del expansor de haz 34 viene representada por la siguiente expresión (2):

$$d_4 = \phi_1 / (2 \cdot \tan \theta_1) \quad (2)$$

Si se supone que la luz láser L1 a emitir con el ángulo de divergencia $2\theta_1$ desde la posición de la fuente de luz del punto virtual Q, el ángulo del haz de luz $2\theta_L$ que entra en la abertura de entrada 32a del primer orificio de transmisión de luz 32 situado a la distancia " $d_4 + d_2 + d_3$ " desde la posición de la fuente de luz del punto virtual Q viene representado por la siguiente expresión (3):

$$2\theta_L = 2 \cdot \tan^{-1} \{ \phi_L / 2 (d_4 + d_2 + d_3) \} \quad (3)$$

donde ϕ_L es el diámetro del primer orificio de transmisión de luz 32.

Por lo tanto, sea ϕ_S el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz 39, puede evitarse que la luz láser L1 incida sobre la parte circundante del primer orificio transmisión de luz 32 si el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz 39 está definido por la siguiente expresión (4) de modo que sólo la luz láser L1 que tenga un ángulo de haz de luz de $2\theta_L$ o menos se transmita a través del mismo:

$$2 (d_4 + d_2) \tan \theta_L \geq \phi_S \quad (4)$$

Si θ_1 , d_4 , y θ_L se eliminan de las expresiones (1) a (4) mencionadas anteriormente, el diámetro ϕ_L del primer orificio de transmisión de luz 32 y el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz 39 cumplen la relación:

$$\frac{\phi_L \{ M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2d_2 \tan \theta_1 \}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S$$

Si la luz láser L1 emitida por el expansor de haz de luz 34 es divergente, la luz láser L1 que incide sobre la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz 32 puede eliminarse substancialmente si el diámetro ϕ_L del primer orificio de transmisión de luz 32 y el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz 39 cumplen la relación mencionada anteriormente tal como se ha indicado. Por lo tanto, la cantidad de luz láser L1 cortado por la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz 32 puede eliminarse sustancialmente, de modo que puede suprimirse además el calentamiento del elemento de sujeción de la lente 29.

A continuación se explicará un caso en el que la luz láser L1 emitida desde el expansor de haz 34 es luz convergente. Supóngase que la fuente de luz láser 22 emite la luz láser L1 a un diámetro del haz ϕ_0 y un ángulo de divergencia $2\theta_0$, y que el haz de expansión 34 incrementa el tamaño del haz de la luz láser según un aumento M y emite la luz láser L1 en un ángulo de convergencia $2\theta_1$. También, tal como se muestra en la figura 18, supóngase que d_1 es la distancia entre la parte de salida 22a de la fuente de luz láser 22 y la parte de entrada 34a del expansor de haz 34, d_2 es la distancia entre la parte de salida 34b del expansor de haz 34 y la abertura de entrada 39a del segundo orificio de transmisión de luz 39, y d_3 es la distancia entre la abertura de entrada 39a del segundo orificio de transmisión de luz 39 y la abertura de entrada 32a del primer orificio de transmisión de luz 32.

Aquí, el diámetro del haz de la luz láser L1 en la parte de entrada 34a del expansor de haz 34 es " $\phi_0 + 2d_1 \cdot \tan \theta_0$ ", de modo que el diámetro del haz ϕ_1 de la luz láser L1 en la parte de salida 34b del expansor de haz 34 viene representado por la siguiente expresión (5):

$$\phi_1 = M (\phi_0 + 2d_1 \cdot \tan \theta_0) \quad (5)$$

Suponiendo que la luz láser L1 que da el diámetro del haz ϕ_1 y el ángulo de convergencia $2\theta_1$ converge en la posición de la parte de salida 34b del expansor de haz 34, la distancia d_5 entre la posición del punto de convergencia de la luz virtual R y la parte de salida 34b del expansor de haz 34 viene representada por la siguiente expresión (6):

$$d_5 = \phi_1 / (2 \cdot \tan \theta_1) \quad (6)$$

En la luz láser convergente con el ángulo de convergencia $2\theta_1$ en el punto de convergencia de la luz virtual R, el ángulo del haz de luz $2\theta_L$ que entra en la abertura de entrada 32a del primer orificio de transmisión de luz 32 situado a la distancia " $d_5 - (d_2 + d_3)$ " del punto de convergencia de la luz virtual R viene representado por la siguiente expresión (7):

$$2\theta_L = 2 \cdot \tan^{-1} [\phi_L / 2 \{d_5 - (d_2 + d_3)\}] \quad (7)$$

donde ϕ_L es el diámetro del primer orificio de transmisión de luz 32.

Por lo tanto, sea ϕ_S el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz 39, puede evitarse que la luz láser L1 incida sobre la parte circundante del primer orificio transmisión de luz 32 si el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz 39 está definido por la siguiente expresión (8) de manera que sólo la luz láser L1 que tenga un ángulo de haz de luz de $2\theta_L$ o menos se transmite a través del mismo:

$$\phi_L + 2d_3 \cdot \tan \theta_L \geq \phi_S \quad (8)$$

Si θ_1 , d_5 , y θ_L se eliminan de las expresiones (5) a (8) mencionadas anteriormente, el diámetro ϕ_L del primer orificio de transmisión de luz 32 y el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz 39 cumplen la relación

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S$$

Si la luz láser L1 emitida por el expansor de haz de luz 34 es convergente, la luz láser L1 que incide en la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz 32 puede eliminarse substancialmente si el diámetro ϕ_L del primer orificio de transmisión de luz 32 y el diámetro ϕ_S del segundo orificio de transmisión de luz 39 cumplen la relación tal como se ha indicado. Por lo tanto, la cantidad de luz láser L1 cortado por la parte circundante del primer orificio de transmisión de luz 32 puede eliminarse sustancialmente, de modo que puede suprimirse además el calentamiento del elemento de sujeción de la lente 29.

Aplicabilidad industrial

Tal como se ha explicado anteriormente, los aparatos de procesamiento con láser de acuerdo con la presente invención pueden suprimir la fluctuación posicional en el punto de convergencia de luz de la luz láser debido principalmente al calentamiento del elemento de sujeción de la lente durante el procesamiento con láser a bajo nivel, de modo que es posible formar una zona modificada con precisión en una posición predeterminada en el interior de un objeto a procesar en forma de oblea.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de procesamiento con láser (20) para irradiar un objeto a procesar en forma de oblea (1) con luz láser (L1) mientras se sitúa un punto de convergencia de la luz (P) en el interior del objeto para así formar una zona modificada (7), comprendiendo el aparato:

un expansor de haz (34) para aumentar el tamaño de haz de la luz láser emitida desde una fuente de luz láser (22);

una lente condensadora (31) para converger la luz láser que incide sobre la misma por medio del expansor de haz hacia el objeto; y caracterizado por:

un elemento de sujeción de la lente (29) que sujeta la lente condensadora (31) y que incluye un primer orificio de transmisión de luz (32) para hacer que la luz láser incida sobre la lente condensadora;

en el cual un elemento de diafragma (38), que tiene un segundo orificio de transmisión de luz (39) para reducir y transmitir la luz láser, se dispone en una trayectoria óptica de la luz láser (L1) que conecta el expansor de haz (34) y el primer orificio de transmisión de luz (32) entre sí y está dispuesto para quedar separado del elemento de sujeción de la lente (29), de manera que se evita que el calor se transmita del elemento de diafragma (38) al elemento de sujeción de la lente (29),

en el que la luz láser (L1) emitida desde el expansor de haz (34) es luz paralela, el segundo orificio de transmisión de luz (39) tiene un diámetro no mayor que el del primer orificio de transmisión de luz (32), y

en el que el primer orificio de transmisión de luz (32) actúa de pupila de entrada de la luz láser (L1) a la lente condensadora (31) y la zona modificada (7) se forma por absorción multifotónica en el interior del objeto que se produce bajo un estado en el que la densidad de potencia máxima de la luz láser es de $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ o mayor.

2. Aparato de procesamiento con láser (20) para irradiar un objeto en forma de oblea (1) a procesar con luz láser (L1), mientras se sitúa un punto de convergencia de la luz (P) en el interior del objeto para así formar una zona modificada (7), comprendiendo el aparato:

un expansor de haz (34) para aumentar el tamaño de haz de la luz láser emitida desde una fuente de luz láser (22);

una lente condensadora (31) para converger la luz láser que incide sobre la misma por medio del expansor de haz hacia el objeto; y caracterizado por:

un elemento de sujeción de la lente (29) que sujeta la lente condensadora (31) y que incluye un primer orificio de transmisión de luz (32) para hacer que la luz láser incida sobre la lente condensadora;

en el cual se dispone que un elemento de diafragma (38) que tiene un segundo orificio de transmisión de luz (39) para reducir y transmitir la luz láser en una trayectoria óptica de la luz láser (L1) que conecta el expansor de haz (34) y el primer orificio de transmisión de luz (32) entre sí y está dispuesto para quedar separado del elemento de sujeción de la lente (29), de manera que se evita que el calor se transmita del elemento de diafragma (38) al elemento de sujeción de la lente (29),

el que la fuente de luz láser (22) emite la luz láser (L1) a un diámetro de haz ϕ_0 y un ángulo de divergencia $2\theta_0$, y el expansor de haz (34) incrementa el tamaño del haz de la luz láser según un aumento M y emite la luz láser en un ángulo de divergencia $2\theta_1$;

suponiendo que d_1 es la distancia entre una parte de salida (22a) de la fuente de luz láser (22) y una parte de entrada (34a) del expansor de haz, d_2 es la distancia entre una parte de salida (34b) del expansor de haz y una abertura de entrada (39a) del segundo orificio de transmisión de luz (39), y d_3 es la distancia entre la abertura de entrada (39a) del segundo orificio de transmisión de luz (39) y una abertura de entrada (32a) del primer orificio de transmisión de luz (32); y

siendo ϕ_L el diámetro del primer orificio de transmisión de luz (32), y ϕ_S el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz (39);

ϕ_L y ϕ_S cumplen la relación

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S \quad \text{y}$$

en el que el primer orificio de transmisión de luz (32) actúa de pupila de entrada de la luz láser (L1) hacia la lente condensadora (31) y la zona modificada (7) se forma por absorción multifotónica en el interior del objeto que se produce bajo un estado en el que la densidad de potencia máxima de la luz láser es de $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ o mayor.

5 3. Aparato de procesamiento con láser (20) para irradiar un objeto en forma de oblea (1) a procesar con luz láser (L1), mientras se sitúa un punto de convergencia de la luz (P) en el interior del objeto para así formar una zona modificada (7), comprendiendo el aparato:

un expansor de haz (34) para aumentar un tamaño de haz de la luz láser emitida desde una fuente de luz láser (22);

10 una lente condensadora (31) para converger la luz láser que incide sobre la misma por medio del expansor de haz hacia el objeto; y caracterizado por:

15 un elemento de sujeción de la lente (29) que sujeta la lente condensadora (31) y que incluye un primer orificio de transmisión de luz (32) para hacer que la luz láser incida sobre la lente condensadora;

20 en el cual se dispone que un elemento de diafragma (38) que tiene un segundo orificio de transmisión de luz (39) para reducir y transmitir la luz láser en una trayectoria óptica de la luz láser (L1) que conecta el expansor de haz y el primer orificio de transmisión de luz (32) entre sí y está dispuesto para quedar separado del elemento de sujeción de la lente (29), de manera que se evita que el calor se transmita del elemento de diafragma (38) al elemento de sujeción de la lente (29),

25 el que la fuente de luz láser (22) emite la luz láser (L1) a un diámetro de haz ϕ_0 y un ángulo de divergencia $2\theta_0$, y el expansor de haz (34) incrementa el tamaño del haz de la luz láser según un aumento M y emite la luz láser en un ángulo de divergencia $2\theta_1$;

30 suponiendo que d_1 es la distancia entre una parte de salida (22a) de la fuente de luz láser (22) y una parte de entrada (34a) del expansor de haz (34), d_2 es la distancia entre una parte de salida (34b) del expansor de haz (34) y una abertura de entrada (39a) del segundo orificio de transmisión de luz (39), y d_3 es la distancia entre la abertura de entrada (39a) del segundo orificio de transmisión de luz (39) y una abertura de entrada (32a) del primer orificio de transmisión de luz (32); y

35 siendo ϕ_L el diámetro del primer orificio de transmisión de luz (32), y ϕ_S el diámetro del segundo orificio de transmisión de luz (39);

ϕ_L y ϕ_S cumplen la relación

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S \text{ y}$$

40 en el que el primer orificio de transmisión de luz (32) actúa de pupila de entrada de la luz láser (L1) hacia la lente condensadora (31) y la zona modificada (7) se forma por absorción multifotónica en el interior del objeto que se produce bajo un estado en el que la densidad de potencia máxima de la luz láser es de $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ o mayor.

Fig.1

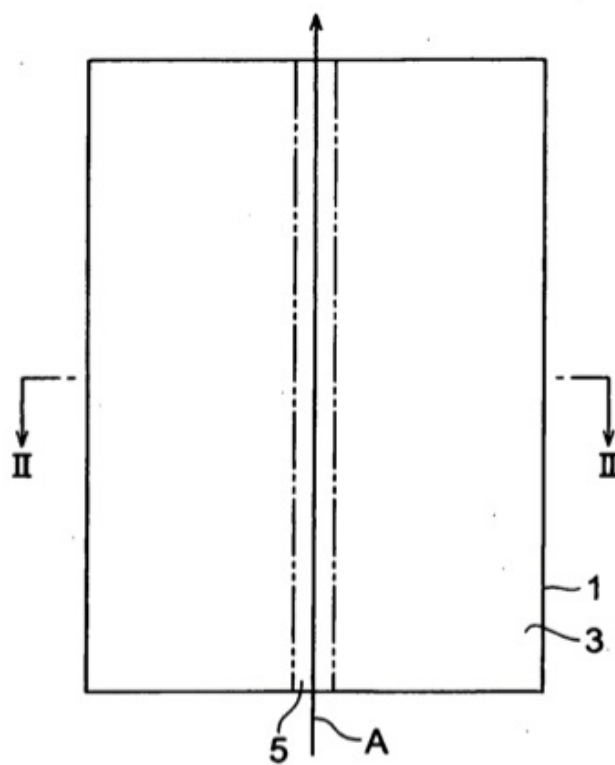


Fig.2

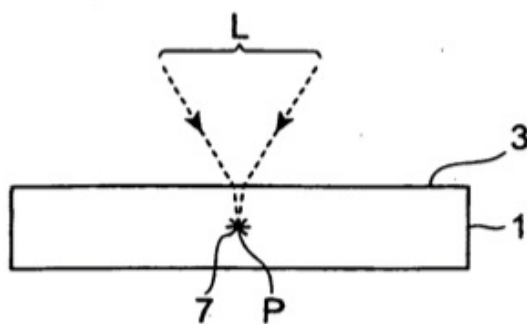


Fig.3

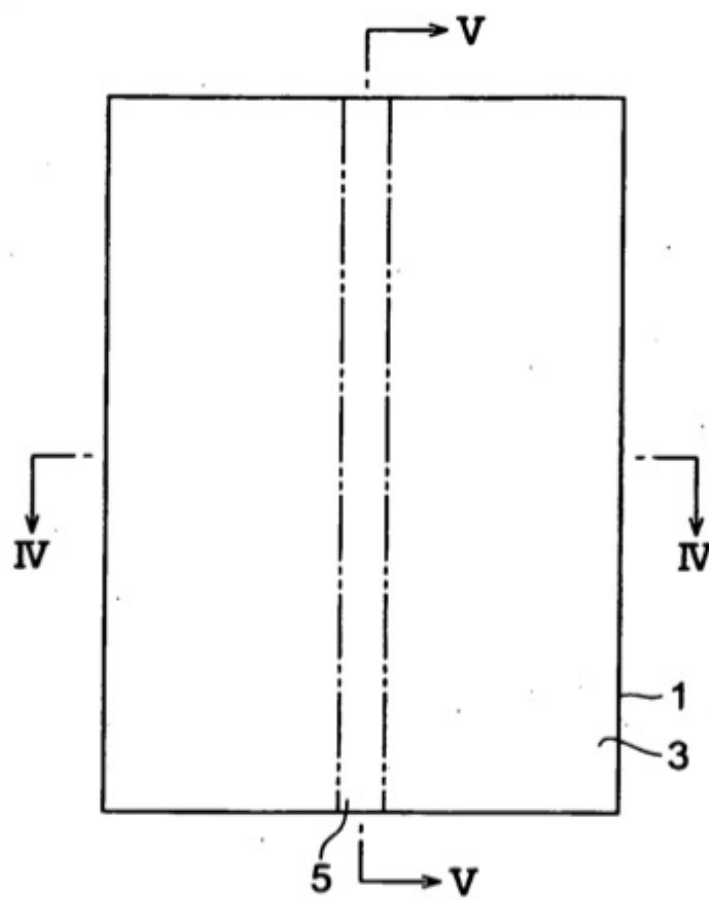


Fig.4

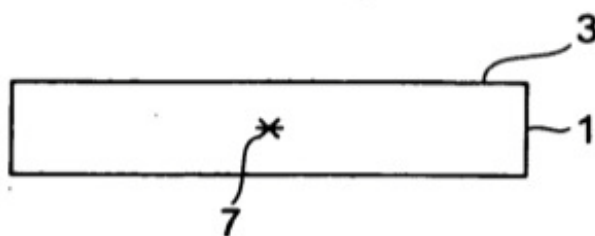


Fig.5

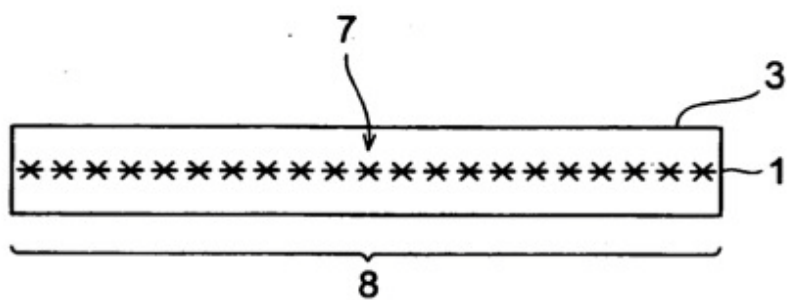


Fig.6

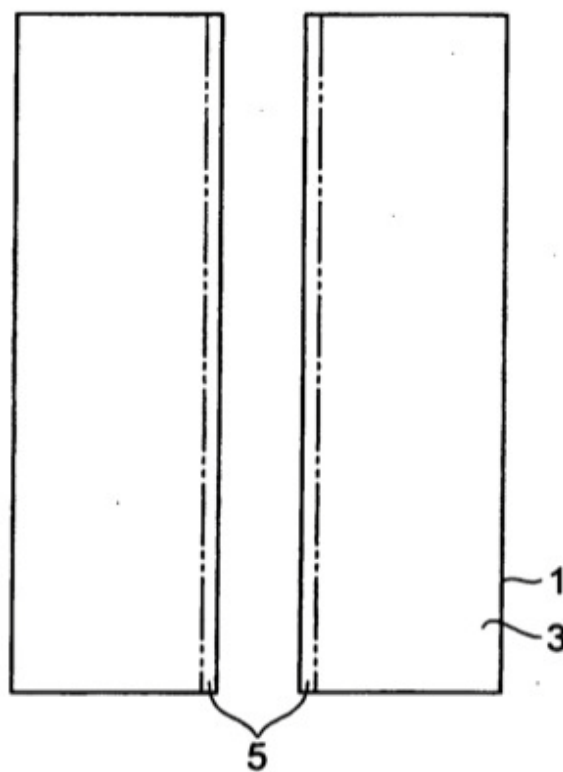


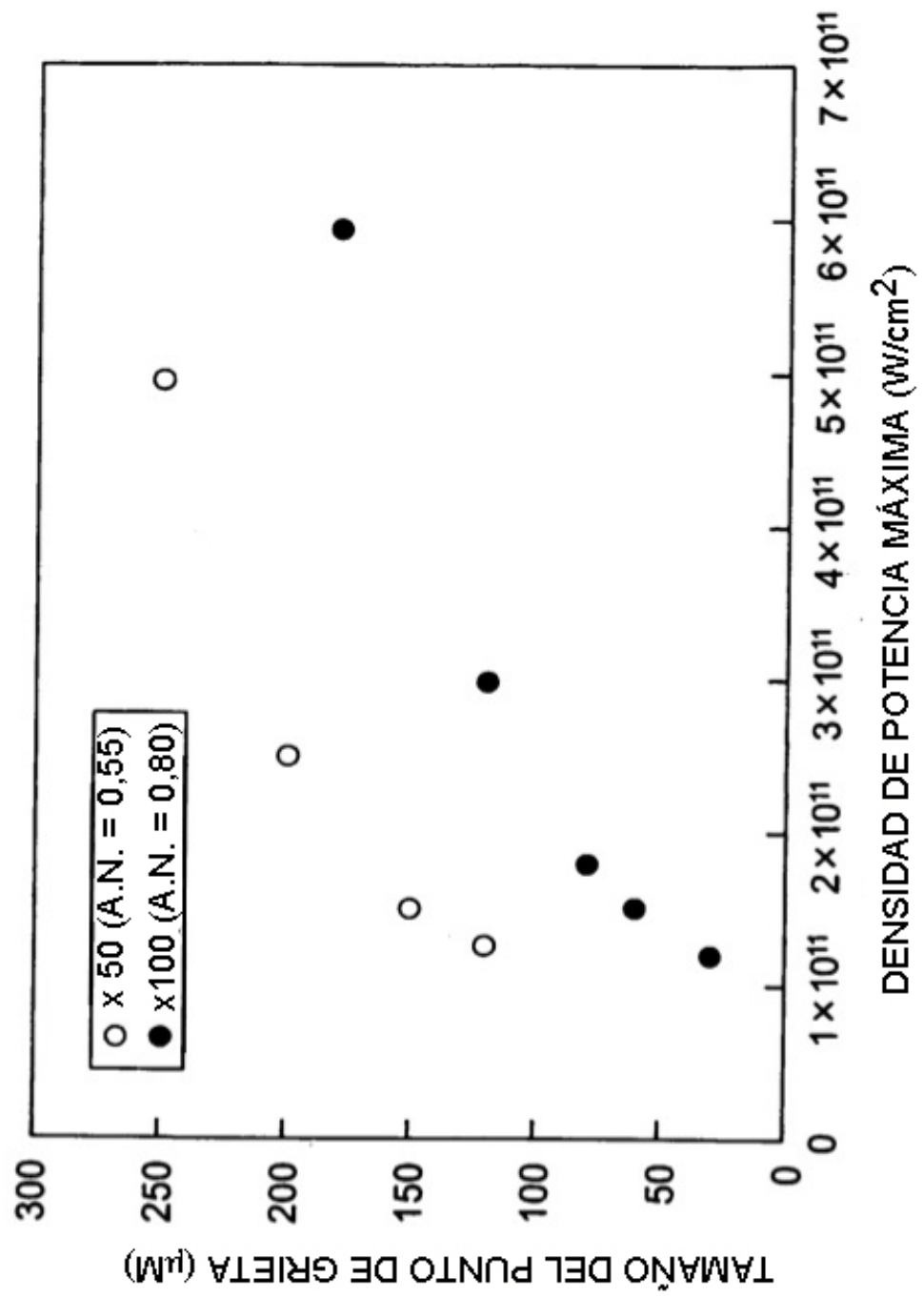
Fig.7

Fig.8

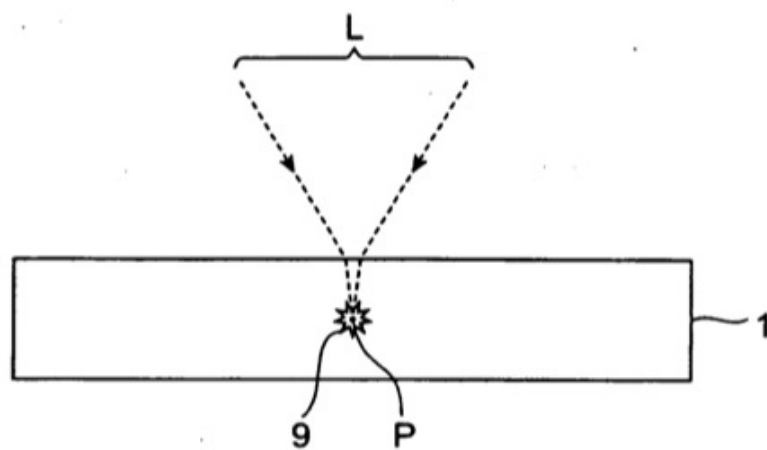


Fig.9

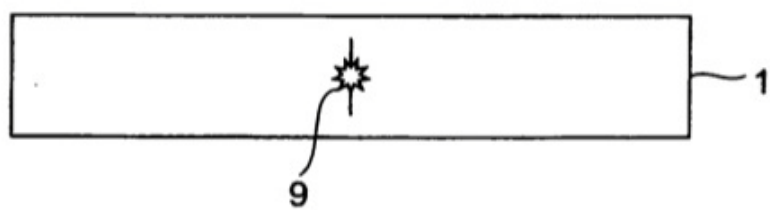


Fig.10

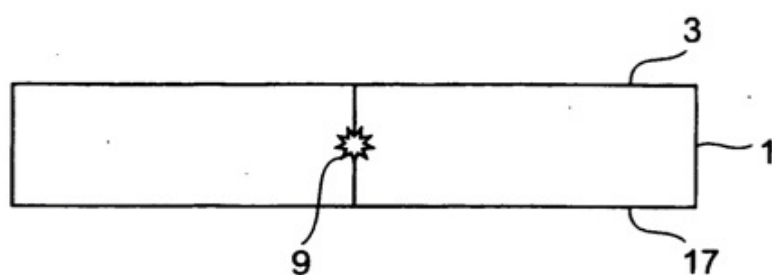


Fig.11

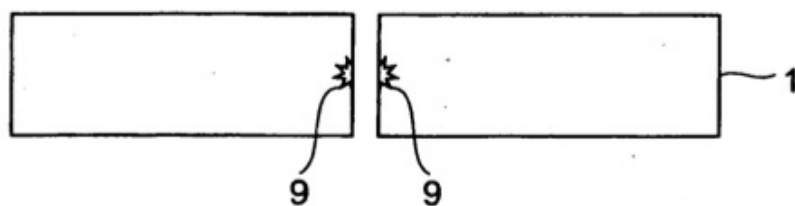


Fig.12

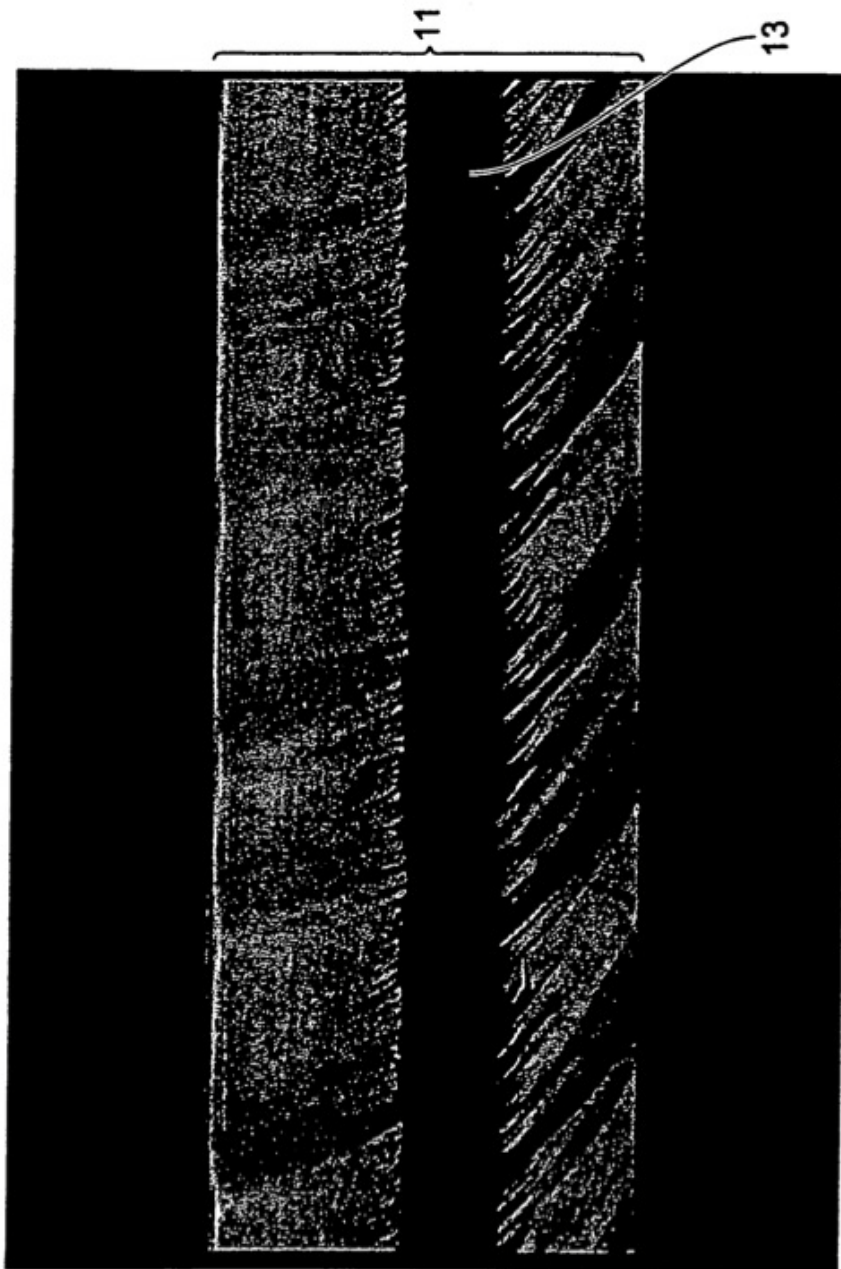


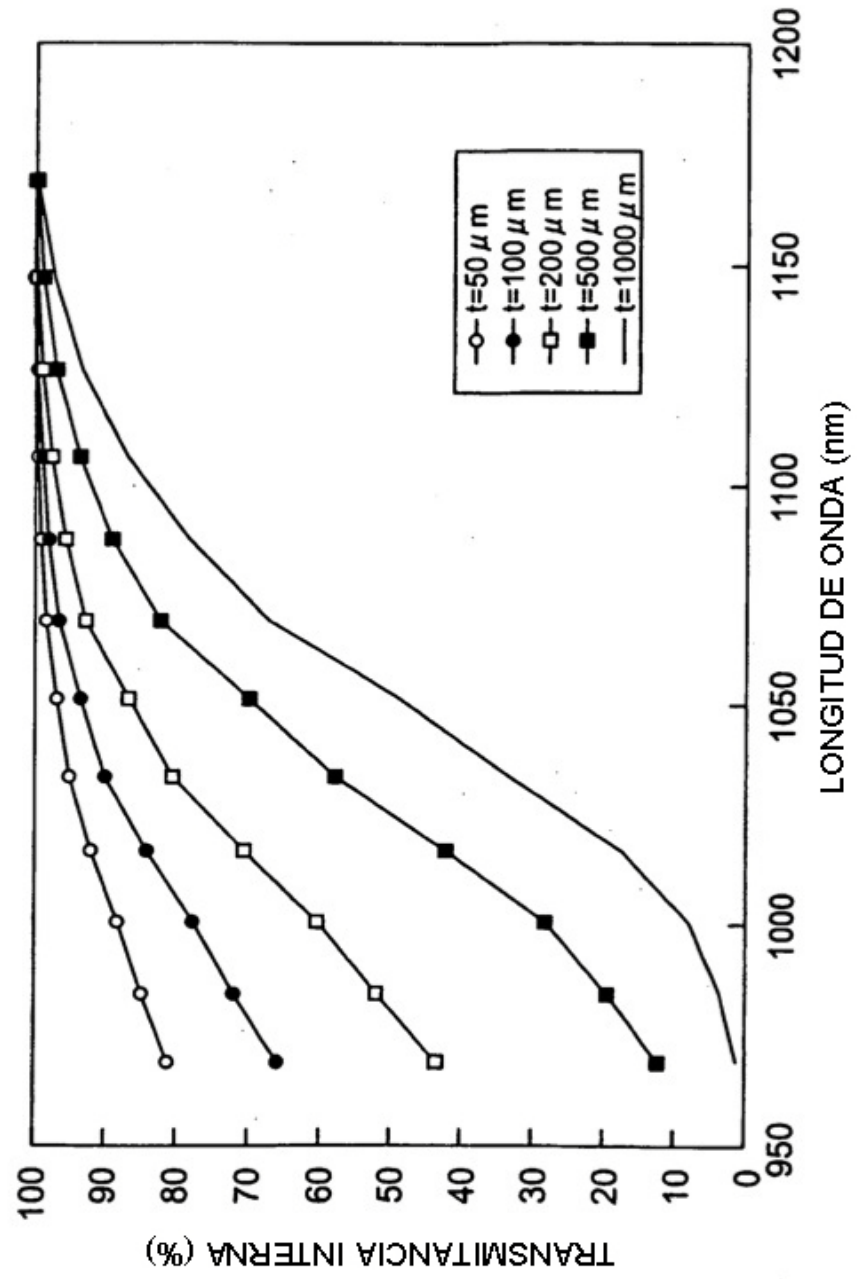
Fig.13

Fig.14

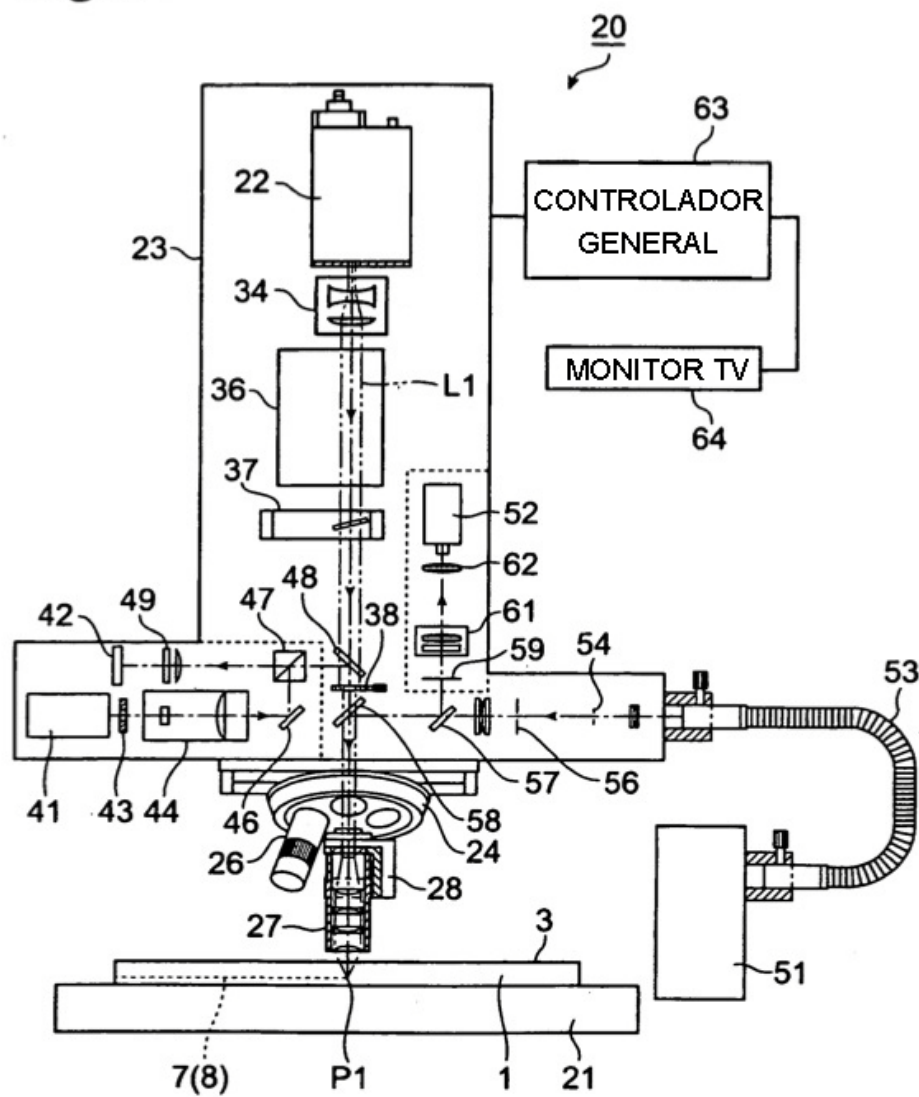


Fig.15

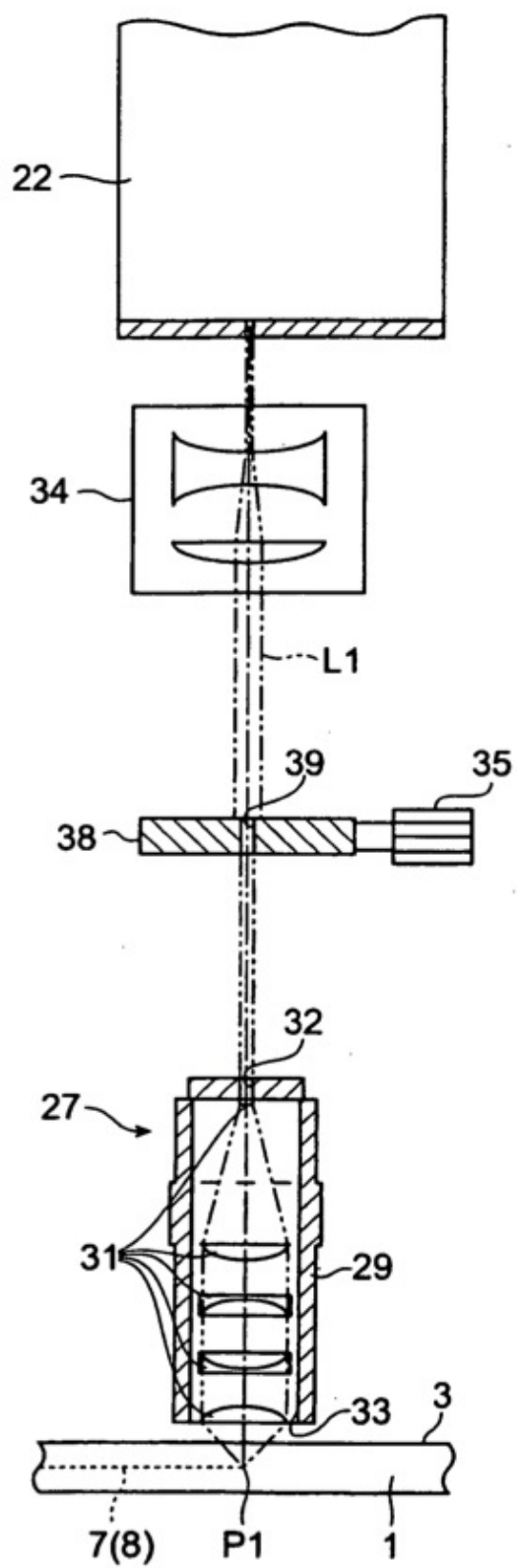


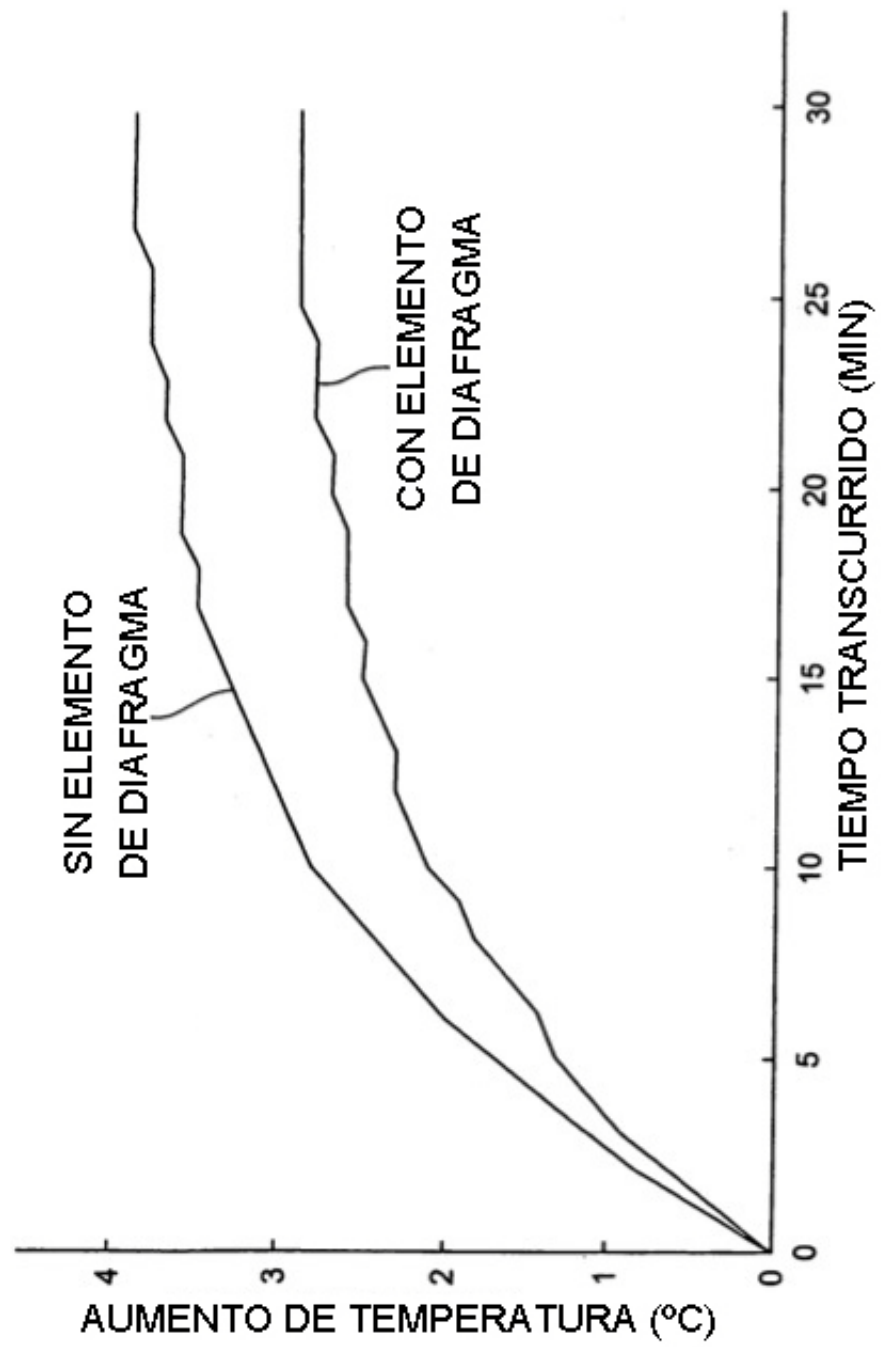
Fig.16

Fig.17

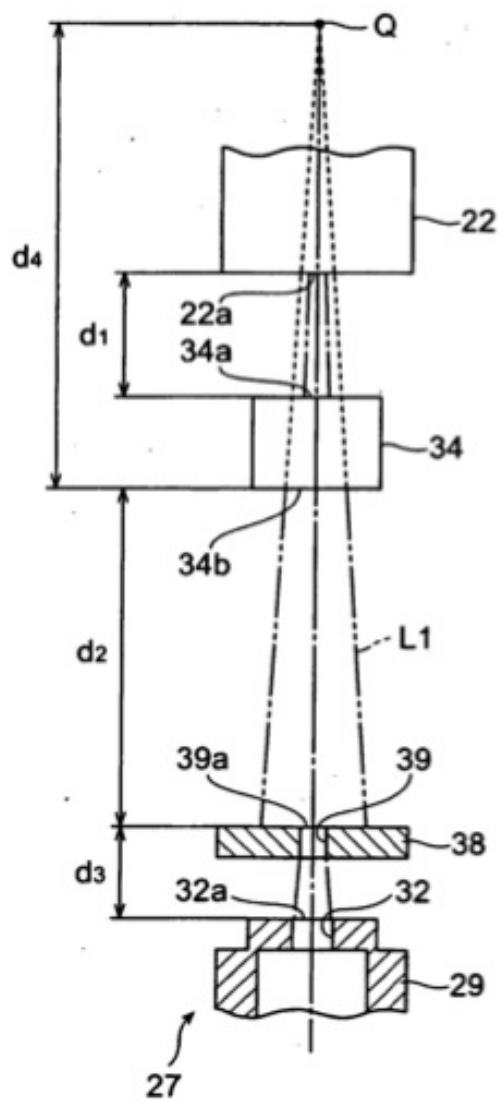


Fig.18

