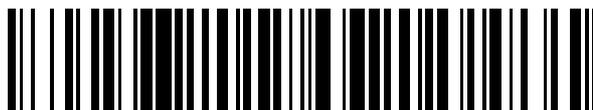


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 527 922**

51 Int. Cl.:

B23K 26/073 (2006.01) **H01L 21/82** (2006.01)
B28D 5/00 (2006.01)
C03B 33/023 (2006.01)
C03B 33/08 (2006.01)
C03B 33/10 (2006.01)
C03C 23/00 (2006.01)
B23K 26/40 (2014.01)
B23K 26/08 (2014.01)
B23K 26/04 (2014.01)
H01L 21/782 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2001 E 10171522 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.12.2014 EP 2251135**

54 Título: **Un método de corte de un objeto a lo largo de dos direcciones diferentes usando adicionalmente una hoja elástica para dividir el objeto**

30 Prioridad:

13.09.2000 JP 2000278306

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

02.02.2015

73 Titular/es:

**HAMAMATSU PHOTONICS K. K. (100.0%)
1126-1, Ichino-cho
Hamamatsu-shi, Shizuoka 435-8558, JP**

72 Inventor/es:

**FUKUYO, FUMITSUGU;
FUKUMITSU, KENSHI;
UCHIYAMA, NAOKI y
WAKUDA, TOSHIMITSU**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 527 922 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

Un método de corte de un objeto a lo largo de dos direcciones diferentes usando adicionalmente una hoja elástica para dividir el objeto

5 La presente invención se refiere a un método de procesamiento de un objeto de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Técnica antecedente

10 Una de las aplicaciones del láser es el corte, un proceso de corte típico efectuado por láser es como sigue: por ejemplo, una pieza a ser cortada en un objeto a ser procesado tal como una oblea de semiconductor o sustrato de vidrio se irradia con un láser que tiene una longitud de onda absorbida por el objeto, de modo se procede a la fusión tras el calentamiento debido a la absorción de la luz láser desde la superficie a la cara posterior del objeto a ser procesado en la pieza a ser cortada, mediante lo que se corta el objeto a ser procesado. Sin embargo, este método también funde el entorno de la zona que se convertirá en la parte cortada en la superficie del objeto a ser cortado. Por lo tanto, en el caso de que objeto a ser procesado sea una oblea de semiconductor, podrían fundirse los dispositivos semiconductores situados próximos a la zona anteriormente mencionada entre los formados en la superficie de la oblea de semiconductor.

20 Conocidos como ejemplos de métodos que pueden impedir que la superficie del objeto a ser procesado se funda son métodos de corte basados en láser descritos en la Solicitud de Patente Japonesa Abierta a Inspección Pública N° 2000-219528 y la Solicitud de Patente Japonesa Abierta a Inspección Pública N° 2000-15467. En los métodos de corte de estas publicaciones, la parte a ser cortada en el objeto a ser procesado se calienta con luz láser y a continuación el objeto se enfría, de modo que se genera un choque térmico en la parte a ser cortada en el objeto, mediante lo que se corta al objeto.

30 El documento US 3970819, en el que se basa el preámbulo de la reivindicación 1, describe un método de troceado por láser para la división de un material semiconductor. Zonas modificadas de óxido de silicio actúan como zonas de punto de inicio para el corte del material semiconductor y se forman a partir de la cara frontal hasta una cara posterior del material semiconductor a lo largo de cada una de las líneas a lo largo de las que se pretende sea cortado el material semiconductor.

35 La Patente Japonesa número 04-111800 describe un método de corte de un material transparente usando un haz de alta energía, mediante el que el punto focal del haz se sitúa sobre una superficie inferior del material antes de que sea movido hacia arriba a través del material a las superficies superiores de modo que forme una zona modificada a través de toda la profundidad del material.

Descripción de la invención

40 Cuando el choque térmico generado en el objeto a ser procesado es grande en los métodos de corte de las publicaciones mencionadas anteriormente, pueden tener lugar fracturas innecesarias tal como aquellas que se desvían de las líneas a ser cortadas o aquellas que se extienden a una parte no irradiada con láser. Por lo tanto, estos métodos de corte no pueden conseguir un corte con precisión. Cuando el objeto a ser procesado es una oblea de semiconductor, un sustrato de vidrio formado para un dispositivo de visualización por cristal líquido, o un sustrato de vidrio formado con un patrón de electrodos en particular, los chips de semiconductor, los dispositivos de visualización de cristal líquido o los patrones de electrodos pueden dañarse debido a las fracturas innecesarias. También, la energía de entrada media es tan alta en estos métodos de corte que es grande el daño térmico impartido al chip de semiconductor y similares.

50 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método de procesamiento del objeto, que no genere fracturas innecesarias en la superficie del objeto a ser procesado y no funda la superficie.

55 (1) El método de procesamiento por láser de acuerdo con la presente invención se define en la reivindicación 1.

Realizaciones adicionales de la presente invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

60 La Fig. 1 es una vista en planta de un objeto a ser procesado durante el procesamiento por láser;
la Fig. 2 es una vista en sección del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 1 tomada a lo largo de la línea II-II;
la Fig. 3 es una vista en planta del objeto a ser procesado después del procesamiento por láser efectuado mediante el método de procesamiento por láser;
65 la Fig. 4 es una vista en sección del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 3 tomada a lo largo de la línea

IV-IV;

la Fig. 5 es una vista en sección del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 3 tomada a lo largo de la línea V-V;

la Fig. 6 es una vista en planta del objeto a ser procesado cortado por el método de procesamiento por láser;

5 la Fig. 7 es un gráfico que muestra las relaciones entre la intensidad de campo eléctrico y la magnitud de la grieta en el método de procesamiento por láser;

la Fig. 8 es una vista en sección del objeto a ser procesado en una primera etapa del método de procesamiento por láser;

10 la Fig. 9 es una vista en sección del objeto a ser procesado en una segunda etapa del método de procesamiento por láser;

la Fig. 10 es una vista en sección del objeto a ser procesado en una tercera etapa del método de procesamiento por láser;

la Fig. 11 es una vista en sección del objeto a ser procesado en una cuarta etapa del método de procesamiento por láser;

15 la Fig. 12 es una vista que muestra una fotografía de la sección transversal en una pieza de una oblea de silicio cortada mediante el método de procesamiento por láser;

la Fig. 13 es un gráfico que muestra las relaciones entre la longitud de onda de la luz láser y la transmitancia dentro del sustrato de silicio en el método de procesamiento por láser;

20 la Fig. 14 es un diagrama esquemático de un aparato de procesamiento por láser utilizable en el método de procesamiento por láser de acuerdo con un primer ejemplo;

la Fig. 15 es un diagrama de flujo para la explicación del método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo;

la Fig. 16 es una vista en planta de un objeto a ser procesado para la explicación del patrón que puede cortarse mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo;

25 la Fig. 17 es una vista esquemática para la explicación del método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo con una pluralidad de fuentes de luz láser;

la Fig. 18 es una vista esquemática para la explicación de otro método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo con una pluralidad de fuentes de luz láser;

30 la Fig. 19 es una vista en planta esquemática que muestra una oblea de dispositivo piezoeléctrico en un estado sujetado por una lámina de oblea en el segundo ejemplo;

la Fig. 20 es una vista en sección esquemática que muestra una oblea de dispositivo piezoeléctrico en un estado sujetado por la lámina de oblea en el segundo ejemplo;

la Fig. 21 es un diagrama de flujo para la explicación del método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

35 la Fig. 22 es una vista en sección de un material transmisor de luz irradiado con luz láser en el método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

la Fig. 23 es una vista en planta del material transmisor de luz irradiado con luz láser mediante el método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

la Fig. 24 es una vista en sección del material transmisor de luz mostrado la Fig. 23 tomada a lo largo de la línea XXIV-XXIV;

40 la Fig. 25 es una vista en sección del material transmisor de luz mostrado la Fig. 23 tomada a lo largo de la línea XXV-XXV;

la Fig. 26 es una vista en sección del material transmisor de luz mostrado la Fig. 23 tomada a lo largo de la línea XXV-XXV cuando la velocidad de movimiento del punto de convergencia de luz se hace más baja;

45 la Fig. 27 es una vista en sección del material transmisor de luz mostrado la Fig. 23 tomada a lo largo de la línea XXV-XXV cuando la velocidad de movimiento del punto de convergencia de luz se hace incluso más baja;

la Fig. 28 es una vista en sección de una oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar mostrando una primera etapa del método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

la Fig. 29 es una vista en sección de la oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar mostrando una segunda etapa del método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

50 la Fig. 30 es una vista en sección de la oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar mostrando una tercera etapa del método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

la Fig. 31 es una vista en sección de la oblea del dispositivo piezoeléctrico o similar mostrando una cuarta etapa del método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

55 la Fig. 32 es una vista en sección de la oblea del dispositivo piezoeléctrico o similar mostrando una quinta etapa del método de corte de acuerdo con el segundo ejemplo;

la Fig. 33 es una vista que muestra la fotografía de un plano de una muestra dentro de la que se forma una zona de grietas tras la irradiación con una luz láser de pulsos polarizada linealmente;

la Fig. 34 es una vista que muestra una fotografía de un plano de una muestra dentro de la que se forma una zona de grietas tras la irradiación con una luz láser de pulsos polarizada circularmente;

60 la Fig. 35 es una vista en sección de la muestra mostrada la Fig. 33 tomada a lo largo de la línea XXXV-XXXV;

la Fig. 36 es una vista en sección de la muestra mostrada en la Fig. 34 tomada a lo largo de la línea XXXVI-XXXVI;

la Fig. 37 es una vista en planta de la pieza del objeto a ser procesado que se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, en la que se forma una zona de rotura mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con un tercer ejemplo;

65 la Fig. 38 es una vista en planta de la pieza del objeto a ser procesado que se extiende a lo largo de una línea a

lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, en el que se forma una zona de rotura mediante un método de procesamiento por láser comparativo;

la Fig. 39 es una vista que muestra luz láser polarizada elípticamente de acuerdo con el tercer ejemplo de la realización, y la zona de rotura formada de ese modo;

5 la Fig. 40 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo;

la Fig. 41 es una vista en perspectiva de una placa de cuarto de onda incluida en un regulador de elipsicidad de acuerdo con el tercer ejemplo;

la Fig. 42 es una vista en perspectiva de una placa de semionda incluida en una pieza del regulador de rotación a 90° de acuerdo con el tercer ejemplo;

10 la Fig. 43 es un diagrama de flujo para la explicación del método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo;

la Fig. 44 es una vista en planta de una oblea de silicio irradiada con luz láser polarizada elípticamente mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo;

15 la Fig. 45 es una vista en planta de una oblea de silicio irradiada con luz láser polarizada linealmente mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo;

la Fig. 46 es una vista en planta de una oblea de silicio en la que la oblea de silicio mostrada en la Fig. 44 es irradiada con luz láser polarizada elípticamente mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo;

20 la Fig. 47 es una vista en planta de una oblea de silicio en la que la oblea de silicio mostrada en la Fig. 45 es irradiada con luz láser polarizada linealmente mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo;

la Fig. 48 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con un cuarto ejemplo;

25 la Fig. 49 es una vista en planta de una oblea de silicio en la que la oblea de silicio mostrada en la Fig. 44 es irradiada con luz láser polarizada elípticamente mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el cuarto ejemplo;

la Fig. 50 es una vista en planta del objeto a ser procesado en el caso en que se forma un punto de rotura relativamente grande mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con un quinto ejemplo;

30 la Fig. 51 es una vista en sección tomada a lo largo de LI-LI sobre la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mostrado en la Fig. 50;

la Fig. 52 es una vista en sección tomada a lo largo de LII-LII ortogonalmente a la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mostrado en la Fig. 50;

la Fig. 53 es una vista en sección tomada a lo largo de LIII-LIII ortogonalmente a la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mostrado en la Fig. 50;

35 la Fig. 54 es una vista en sección tomada a lo largo de LIV-LIV ortogonalmente a la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mostrado en la Fig. 50;

la Fig. 55 es una vista en planta del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 50 cortado a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto;

40 la Fig. 56 es una vista en sección del objeto a ser procesado tomada a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el caso en que se forma el punto de rotura relativamente pequeño mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo;

la Fig. 57 es una vista en planta del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 56 cortado a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto;

45 la Fig. 58 es una vista en sección del objeto a ser procesado mostrando un estado en el que la luz láser de pulsos converge dentro del objeto mediante el uso de una lente de convergencia de luz que tiene una apertura numérica predeterminada;

la Fig. 59 es una vista en sección del objeto a ser procesado que incluye un punto de rotura formado debido a la absorción de multifotones producida por irradiación con luz láser mostrada en la Fig. 58;

50 la Fig. 60 es una vista en sección del objeto a ser procesado en el caso en que se usa una lente de convergencia de luz que tiene una apertura numérica mayor que la del ejemplo mostrado en la Fig. 58;

la Fig. 61 es una vista en sección del objeto a ser procesado incluyendo un punto de rotura formado debido a la absorción de multifotones producida por la irradiación con luz láser mostrada en la Fig. 60;

la Fig. 62 es una vista en sección del objeto a ser procesado en el caso en que se usa una luz láser de pulsos que tiene una potencia más baja que la del ejemplo mostrado en la Fig. 58;

55 la Fig. 63 es una vista en sección del objeto a ser procesado que incluye un punto de rotura formado debido a la absorción de multifotones producida por irradiación con luz láser mostrada en la Fig. 62;

la Fig. 64 es una vista en sección del objeto a ser procesado en el caso en el que se usa una luz láser de pulsos que tiene una potencia inferior que la del ejemplo mostrado en la Fig. 60;

60 la Fig. 65 es una vista en sección del objeto a ser procesado incluyendo un punto de rotura formado debido a la absorción de multifotones producida por irradiación con luz láser mostrada en la Fig. 64;

la Fig. 66 es una vista en sección tomada a lo largo de LXVI-LXVI ortogonal a la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mostrado en la Fig. 57;

la Fig. 67 es un diagrama esquemático que muestra el aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo;

65 la Fig. 68 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo del controlador global proporcionado en el aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo;

la Fig. 69 es una vista que muestra un ejemplo de tabla de una sección de almacenamiento de correlación incluida en el controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo;
 la Fig. 70 es una vista que muestra otro ejemplo de la tabla de la sección de almacenamiento de correlación incluida en el controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo;
 5 la Fig. 71 es una vista que muestra otro ejemplo más de la tabla de la sección de almacenamiento de correlación incluida en el controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo;
 la Fig. 72 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con un sexto ejemplo;
 la Fig. 73 es una vista que muestra la convergencia de luz láser producida por una lente de convergencia de luz en el caso de que no se disponga de expansor del haz;
 10 la Fig. 74 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por la lente de convergencia de luz en el caso de que se disponga de un expansor del haz;
 la Fig. 75 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con un séptimo ejemplo;
 la Fig. 76 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por la lente de convergencia de luz en el caso de que no se disponga de iris de diafragma;
 15 la Fig. 77 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por la lente de convergencia de luz en el caso de que se disponga de un diafragma de iris;
 la Fig. 78 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo del controlador global proporcionado en un ejemplo modificado del aparato de procesamiento por láser;
 20 la Fig. 79 es un diagrama de bloques de otro ejemplo del controlador global proporcionado en el ejemplo modificado del aparato de procesamiento por láser;
 la Fig. 80 es un diagrama de bloques de otro ejemplo más del controlador global proporcionado en el ejemplo modificado del aparato de procesamiento por láser;
 la Fig. 81 es una vista en planta de un ejemplo de la parte del objeto a ser procesado que se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, en la que se forma una zona de rotura mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con un octavo ejemplo;
 25 la Fig. 82 es una vista en planta de otro ejemplo de la parte del objeto a ser procesado que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, en la que se forma una zona de rotura mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 30 la Fig. 83 es una vista en planta de otro ejemplo más de la parte del objeto a ser procesado que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, en la que se forma una zona de rotura mediante el método de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 la Fig. 84 es un diagrama esquemático de un láser de conmutación Q proporcionado con una fuente de luz láser del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 35 la Fig. 85 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo de un controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 la Fig. 86 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo de controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 la Fig. 87 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más de controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 40 la Fig. 88 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más de controlador global del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo;
 la Fig. 89 es una vista en perspectiva de un ejemplo del objeto a ser procesado dentro del que se forma una zona de rotura mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con un noveno ejemplo;
 45 la Fig. 90 es una vista en perspectiva del objeto a ser procesado formado con una rotura que se extiende desde la zona de rotura mostrada en la Fig. 89;
 la Fig. 91 es una vista en perspectiva de otro ejemplo del objeto a ser procesado dentro del que se forma una zona de rotura mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el noveno ejemplo;
 la Fig. 92 es una vista en perspectiva de otro ejemplo más del objeto a ser procesado dentro del que se forma una zona de rotura mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el noveno ejemplo;
 50 la Fig. 93 es una vista que muestra el estado en el que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa sobre la superficie del objeto a ser procesado;
 la Fig. 94 es una vista que muestra el estado en el que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa dentro del objeto a ser procesado;
 55 la Fig. 95 es un diagrama de flujo para la explicación del método de procesamiento por láser de acuerdo con el noveno ejemplo;
 la Fig. 96 es una vista en perspectiva de un ejemplo del objeto a ser procesado dentro del que se forma una zona de rotura mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con un décimo ejemplo;
 la Fig. 97 es una vista en sección parcial del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 96;
 60 la Fig. 98 es una vista en perspectiva de otro ejemplo del objeto a ser procesado dentro del que se forma una zona de rotura mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el décimo ejemplo;
 la Fig. 99 es una vista en sección parcial del objeto a ser procesado mostrado en la Fig. 98; y
 la Fig. 100 es una vista en perspectiva de otro ejemplo más del objeto a ser procesado dentro del que se forma una zona de rotura mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con la presente invención.
 65

Mejores modos de llevar a cabo la invención

En lo que sigue, se explicará un ejemplo con referencia a los dibujos. El método de procesamiento por láser y el aparato de procesamiento por láser forman una zona modificada mediante absorción de multifotones. La absorción de multifotones es un fenómeno que tiene lugar cuando la intensidad de la luz láser se hace muy alta. Primero, se explicará brevemente la absorción de multifotones.

Un material se hace ópticamente transparente cuando la energía $h\nu$ de los fotones es más baja que la banda prohibida E_G de absorción del material. Por lo tanto, la condición bajo la que tiene lugar la absorción en el material es $h\nu > E_G$. Incluso cuando es ópticamente transparente, sin embargo, la absorción tiene lugar en el material bajo la condición de $n h\nu > E_G$ ($n = 2, 3, 4, \dots$) cuando la intensidad de la luz láser se hace muy alta. Este fenómeno es conocido como absorción de multifotones. En el caso de ondas de impulsos, la intensidad de la luz láser se determina por la densidad de potencia de pico (W/cm^2) de la luz láser en el punto de convergencia de luz, mientras que la absorción de multifotones tiene lugar bajo la condición de una densidad de potencia de pico de al menos 1×10^8 (W/cm^2), por ejemplo. La densidad de potencia de pico se determina mediante (energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz por pulso) / (área de sección transversal del punto de la de la luz láser \times ancho del pulso). En el caso de una onda continua, la intensidad de la luz láser se determina mediante la intensidad del campo eléctrico (W/cm^2) de la luz láser en el punto de convergencia de luz.

Se explicará ahora con referencia las Figs. 1 a 6 el principio del procesamiento por láser de acuerdo con la utilización de dicha absorción de multifotones. La Fig. 1 es una vista en planta de un objeto 1 a ser procesado durante el procesamiento por láser. La Fig. 2 es una vista en sección del objeto 1 mostrado la Fig. 1 tomada a lo largo de la línea II-II. La Fig. 3 es una vista en planta del objeto 1 después del procesamiento por láser. La Fig. 4 es una vista en sección del objeto 1 mostrado en la Fig. 3 tomada a lo largo de la línea IV-IV. La Fig. 5 es una vista en sección del objeto 1 mostrado en la Fig. 3 tomada a lo largo de la línea V-V. La Fig. 6 es una vista en planta del objeto 1 cortado.

Tal como se muestra en las Figs. 1 y 2, el objeto 1 tiene una superficie 3 con una línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. La línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto es una línea virtual que se extiende linealmente. En el procesamiento por láser, el objeto 1 es irradiado con luz láser L mientras se sitúa un punto P de convergencia de luz dentro del objeto 1 bajo una condición de generación de absorción de multifotones, de modo que forme una zona 7 modificada. El punto de convergencia de luz se refiere a una localización en la que converge la luz láser L.

Mediante el movimiento de la luz láser L a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto (es decir a lo largo de la dirección de la flecha A), el punto P de convergencia de luz se mueve a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Esto forma la zona 7 modificada a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto solo dentro del objeto 1 tal como se muestra en las Figs. 3 a 5. En el método de procesamiento por láser de acuerdo con la presente realización, la zona modificada 7 no se forma mediante calentamiento del objeto 1 debido a la absorción de la luz láser L en él. La luz láser L se transmite a través del objeto 1, de modo que genera una absorción de multifotones dentro de él, formando de ese modo la zona modificada 7. Por lo tanto, la luz láser L es difícilmente absorbida en la superficie 3 del objeto 1, por lo que la superficie 3 del objeto 1 no fundirá.

Si existe un punto de inicio en una parte a ser cortada cuando se corta el objeto 1, el objeto 1 se romperá a partir del punto de inicio, mediante lo que el objeto 1 se puede cortar con una fuerza relativamente pequeña tal como se muestra en la Fig. 6. Por ello, el objeto 1 se puede cortar sin generar fracturas innecesarias en la superficie 3 del objeto 1.

Los siguientes dos casos parecen existir en el corte del objeto a ser procesado usando la zona modificada como un punto de inicio. El primer paso es el que, después de que se forme la zona modificada, se aplica una fuerza artificial al objeto, mediante lo que el objeto se rompe mientras se usa la zona modificada como punto de inicio, y de ese modo se corta. Este es el corte en el caso en que el objeto a ser procesado tiene un gran grosor, por ejemplo. La aplicación de la fuerza artificial incluye, por ejemplo, la aplicación de un esfuerzo de curvado o esfuerzo de corte al objeto a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto a ser procesado, o impartir una diferencia de temperatura al objeto de modo que se genere una tensión térmica. Otro caso es cuando se forma una zona modificada, de modo que el objeto se rompe naturalmente en la dirección de la sección transversal (dirección del grosor) del objeto mientras se usa la zona modificada como punto de inicio, mediante lo que se corta al objeto. Esto se puede conseguir mediante una zona modificada simple cuando el grosor del objeto es pequeño, y mediante una pluralidad de zonas modificadas formadas en la dirección de grosor cuando el grosor del objeto a ser procesado es grande. La rotura y corte se pueden llevar a cabo con un control favorable incluso en este caso de rotura natural, dado que la rotura no alcanzará a la parte formada con una zona no modificada sobre la superficie en la parte a ser cortada, de modo que solo la parte formada con una zona modificada se puede romper y cortar. Dicho método de rotura y corte con una capacidad de control favorable es bastante efectivo, dado que las obleas de semiconductor tales como las obleas de silicio se han convertido recientemente en propensas a disminuir en su grosor.

La zona modificada formada mediante absorción de multifotones incluye lo siguiente (1) a (3):

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

- 5 Un objeto a ser procesado (por ejemplo vidrio o un material piezoeléctrico hecho de LiTaO_3) es irradiado con luz láser mientras el punto de convergencia de luz se sitúa dentro de él en una situación con una densidad de potencia de pico de al menos 1×10^8 (W/cm^2) y un ancho de pulso de $1 \mu\text{s}$ o menor en el punto de convergencia de luz. Esta magnitud del ancho del pulso es una condición bajo la que se puede formar la zona de grietas solamente dentro del objeto a ser procesado mientras se genera una absorción de multifotones sin producir daños innecesarios a la superficie del objeto. Esto genera un fenómeno de daño óptico provocado por la absorción de multifotones dentro del objeto a ser procesado. Este daño óptico induce una dispersión térmica dentro del objeto a ser procesado, formando de ese modo una zona de grietas en él. El límite superior de la intensidad de campo eléctrico es 1×10^{12} (W/cm^2), por ejemplo. El ancho del pulso es preferiblemente de 1 ns a 200 ns, por ejemplo. La formación de una zona de grietas provocada por la absorción de multifotones se describe, por ejemplo, en "Interval Marking of Glass Substrate by Solid-state Laser Harmonics", Proceedings of 45th Laser Materials Processing Conference (diciembre de 1998), págs. 23-28.

El presente inventor determinó relaciones entre la intensidad de campo eléctrico y la magnitud de la grieta mediante experimentación. Las condiciones para el experimento son las siguientes:

- 20 (A) Objeto a ser procesado: vidrio Pyrex (que tenía un grosor de $700 \mu\text{m}$)
 (B) Láser
 Fuente de luz: bombeo láser de láser semiconductor de Nd:YAG
 Longitud de onda: 1064 nm
 25 Área de sección transversal del punto de luz láser $3,14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$
 Modo de oscilación: pulso de conmutación Q
 Frecuencia de repetición: 100 kHz
 Ancho del pulso: 30 ns
 Salida: salida $< 1 \text{ mJ/pulso}$
 30 Calidad de la luz láser: TEM_{00}
 Característica de polarización: polarización lineal
 (C) Lente de convergencia de luz
 Transmitancia respecto a la longitud de onda de la luz láser: 60%
 (D) Velocidad de movimiento respecto a una mesa de montaje que monta al objeto a ser procesado: 100 mm/s

35 La calidad de la luz láser de TEM_{00} indica que la convergencia de luz es tan alta que la luz puede converger hasta aproximadamente la longitud de onda de la luz láser.

40 La Fig. 7 es un gráfico que muestra los resultados del experimento mencionado anteriormente. Las abscisas indican la densidad de potencia de pico. Dado que la luz láser es una luz láser de pulsos, su intensidad de campo eléctrico es representada por la densidad de potencia de pico. La ordenada indica el tamaño de una grieta en la pieza (punto de grieta) formada dentro del objeto a ser procesado mediante un pulso de luz láser. Un conjunto de puntos de grieta forma una zona de grietas. El tamaño de un punto de grieta se refiere a la parte de dimensiones del punto de grieta que conducen a la máxima longitud. Los datos indicados por los círculos negros en el gráfico se refieren a un caso en el que el vidrio de convergencia de luz (C) tiene una magnificación de $\times 100$ y una apertura numérica (NA) de $0,80$. Por otro lado, los datos indicados por los círculos blancos en el gráfico se refieren a un caso en el que el vidrio de convergencia de luz (C) tiene una magnificación de $\times 50$ y una apertura numérica (NA) de $0,55$. Se ve que los puntos de rotura comienzan a tener lugar dentro del objeto a ser procesado cuando la densidad de potencia de pico alcanza 10^{11} (W/cm^2), y se hacen más grandes cuando la densidad de potencia de pico se incrementa.

50 Se explicará ahora con referencia las Figs. 8 a 11 un mecanismo mediante el que el objeto a ser procesado se corta tras la formación de una zona de grietas en el procesamiento por láser de acuerdo con la presente realización. Tal como se muestra en la Fig. 8, el objeto 1 a ser procesado es irradiado con luz láser L mientras se sitúa el punto de convergencia de luz P dentro del objeto 1 en una condición en la que tiene lugar la absorción de multifotones, de modo que se forma una zona de grietas 9 dentro de él. La zona de grietas 9 es una zona que incluye una o una pluralidad de grietas. Tal como se muestra en la Fig. 9, la grieta crece adicionalmente mientras se usa la zona de grietas 9 como un punto de inicio. Tal como se muestra en la Fig. 10 a la grieta alcanza la superficie 3 y la cara posterior 21 del objeto 1. Tal como se muestra en la Fig. 11, el objeto 1 se rompe, de modo que se corta. La grieta que alcanza la superficie y cara posterior del objeto a ser procesado puede crecer naturalmente o crecer cuando se aplica una fuerza al objeto.

(2) Caso en el que la zona modificada es una zona procesada por fusión

65 Un objeto a ser procesado (por ejemplo, un material semiconductor tal como silicio) es irradiado con luz láser mientras el punto de convergencia de luz se sitúa dentro de él en una condición con una densidad de potencia de

pico de al menos 1×10^8 (W/cm²) y un ancho de pulso de 1 μ s o menor en el punto de convergencia de luz. En consecuencia, el interior del objeto a ser procesado se calienta localmente mediante absorción de multifotones. Este calentamiento forma una zona procesada por fusión dentro del objeto a ser procesado. La zona procesada por fusión se refiere a al menos una zona que se fundió una vez y a continuación se volvió a solidificar, una zona en un estado fundido, y una zona en el proceso de nueva solidificación a partir de su estado fundido. La zona procesada por fusión puede definirse también como una zona de cambio de fase o una zona que ha cambiado su estructura cristalina. La zona procesada por fusión puede considerarse también como una zona en la que una cierta estructura ha cambiado a otra estructura en estructuras monocristalina, amorfa y policristalina. Concretamente, se refiere a una zona en la que una estructura monocristalina ha cambiado a una estructura amorfa, una zona en la que una estructura monocristalina ha cambiado a una estructura policristalina, y una zona en la que una estructura monocristalina ha cambiado a una estructura que incluye una estructura amorfa y una estructura policristalina, por ejemplo. Cuando el objeto a ser procesado es una estructura monocristalina de silicio, la zona procesada por fusión es una estructura de silicio amorfa, por ejemplo. El límite superior de la intensidad de campo eléctrico es de 1×10^{12} (W/cm²), por ejemplo. El ancho de pulso es preferiblemente de 1 ns a 200 ns, por ejemplo.

Mediante un experimento, el inventor verificó que se forma una zona procesada por fusión dentro de una oblea de silicio. Las condiciones para el experimento son como sigue:

(A) Objeto a ser procesado: oblea de silicio (teniendo un grosor de 350 μ m y un diámetro exterior de 10,16 cm)

(B) Láser

Fuente de luz: bombas de láser de láser semiconductor de Nd:YAG

Longitud de onda: 1064 nm

Área de sección transversal del punto de luz láser: $3,14 \times 10^{-8}$ cm²

Modo de oscilación: pulso de conmutación Q

Frecuencia de repetición: 100 kHz

Ancho del pulso: 30 ns

Salida: 20 μ J/pulso

Calidad de la luz láser: TEM₀₀

Característica de polarización: polarización lineal

(C) Lente de convergencia de luz

Magnificación: x50

NA: 0,55

Transmitancia con respecto a la longitud de onda de la luz láser: 60%

(D) Velocidad de movimiento respecto a una mesa de montaje que monta al objeto a ser procesado: 100 mm/s

La Fig. 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección transversal de una parte de una oblea de silicio cortada mediante procesamiento por láser bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Se forma una zona procesada por fusión dentro de una oblea de silicio 11. El tamaño de la zona procesada por fusión formada bajo las condiciones mencionadas anteriormente es de aproximadamente 100 μ m en la dirección del grosor.

Se explicará la formación de la zona procesada por fusión 13 mediante absorción de multifotones. La Fig. 13 es un gráfico que muestra relaciones entre la longitud de onda de la luz láser y la transmitancia dentro del sustrato de silicio. En este caso, los componentes de reflexión respectivos sobre los lados de la superficie y la cara posterior del sustrato de silicio se eliminan, mediante lo que solo se representan las distancias dentro de ella. Las relaciones anteriormente mencionadas se muestran en los casos en los que el grosor t del sustrato de silicio es de 50 μ m, 100 μ m, 200 μ m, 500 μ m y 1000 μ m, respectivamente.

Por ejemplo, se ve que la luz láser se transmite a través del sustrato de silicio mediante al menos el 80% a 1064 nm, que es la longitud de onda del láser de Nd:YAG, cuando el sustrato de silicio tiene un grosor de 500 μ m o menor. Dado que la oblea de silicio 11 mostrada en la Fig. 12 tiene un grosor de 350 μ m, la zona procesada por fusión provocada por la absorción de multifotones se forma próxima al centro de la oblea de silicio, es decir, en una parte separada de la superficie en 175 μ m. La transmitancia en este caso es del 90% mayor con referencia a la oblea de silicio que tiene un grosor de 200 μ m, por lo que la luz láser es absorbida dentro de la oblea de silicio 11 solo ligeramente y se trasmite sustancialmente a través de ella. Esto significa que la zona procesada por fusión no se forma mediante la absorción de luz láser dentro de la oblea de silicio 11 (es decir no se forma tras el calentamiento usual con un láser), sino mediante absorción de multifotones. La formación de una zona procesada por fusión mediante absorción de multifotones se describe, por ejemplo, en "Processing Characteristic evaluation of Silicon by Picosecond Pulse Leaser", Preprints of the National Meeting of Japan Welding Society, N° 66 (abril de 2000), págs. 72-73.

En este caso, se genera una fractura en la dirección de la sección transversal mientras se usa la zona procesada por fusión como un punto de inicio, por lo que la oblea de silicio se corta cuando la fractura alcanza la superficie y la cara posterior de la oblea de silicio. La fractura que alcanza la superficie y la cara posterior del objeto a ser procesado

puede crecer naturalmente o crecer cuando se aplica una fuerza al objeto. La fractura crece naturalmente a partir de la zona procesada por fusión hasta la superficie y la cara posterior de la oblea de silicio en uno de los casos en los que la fractura crece desde una zona una vez fundida y a continuación vuelta a solidificar, en la que la fractura crece desde una zona en un estado fundido, y en el que la fractura crece a partir de una zona en el proceso de nueva solidificación a partir del estado fundido. En cualquiera de estos casos, la zona procesada por fusión se forma solamente dentro de la sección transversal después del corte tal como se muestra en la Fig. 12. Cuando se forma una zona procesada por fusión dentro del objeto a ser procesado, es difícil que ocurran fracturas innecesarias que se desvíen de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el momento de rotura y corte, lo que hace fácil controlar la rotura y el corte.

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

Un objeto a ser procesado (por ejemplo vidrio) es irradiado con un láser mientras se sitúa el punto de convergencia de luz dentro de él en una condición con una densidad de potencia de pico de al menos 1×10^8 (W/cm²) y un ancho de pulso de 1 ns o menor en el punto de convergencia de luz. Cuando se genera la absorción de multifotones dentro del objeto a ser procesado con un ancho de pulso muy corto, la energía producida por la absorción de multifotones no se transforma en energía térmica, de modo que se induce dentro del objeto un cambio estructural permanente tal como el cambio de valencia iónica, cristalización u orientación de la polarización, por lo que se forma una zona de cambio del índice de refracción. El límite superior de la intensidad de campo eléctrico es 1×10^{12} (W/cm²), por ejemplo. El ancho de pulso es preferiblemente de 1 ns o menor, más preferiblemente de 1 ps o menor, por ejemplo. La formación de una zona de cambio del índice de refracción mediante absorción de multifotones se describe, por ejemplo, en "Formation of Photo-induced Structure within Glass by Femtosecond Laser Irradiation", Proceedings of 42th Laser Materials Processing Conference (noviembre de 1997), págs. 105-111.

Se explicarán ahora ejemplos específicos.

[Primer ejemplo]

Se explicará el método de procesamiento por láser de acuerdo con un primer ejemplo. La Fig. 14 es un diagrama esquemático de un aparato de procesamiento por láser 100 utilizable en este método. El aparato de procesamiento por láser 100 comprende una fuente de luz láser 101 para la generación de la luz láser L; un controlador de la fuente de luz láser 102 para el control de la fuente de luz láser 101 de modo que regule la salida y el ancho de pulso de la luz láser L y similares; un espejo dicróico 103, dispuesto de modo que cambie la orientación del eje óptico de la luz láser L en 90°, que tenga una función de reflexión de la luz láser L; una lente de convergencia de luz 105 para la convergencia de la luz láser L reflejada por el espejo dicróico 103; una mesa de montaje 107 para el montaje de un objeto 1 a ser procesado irradiado con la luz láser L que converge por la lente de convergencia de luz 105; una plataforma del eje X 109 para el movimiento de la mesa de montaje 107 en la dirección del eje X; una plataforma del eje Y 111 para movimiento de la mesa de montaje 107 en la dirección del eje Y ortogonal a la dirección del eje X; una plataforma 113 del eje Z para el movimiento de la mesa de montaje 107 en la dirección del eje Z ortogonal a las direcciones de eje X e Y; y un controlador de plataforma 115 para el control del movimiento de estas tres plataformas 109, 111, 113.

La dirección del eje Z es una dirección ortogonal a la superficie 3 del objeto 1 a ser procesado, convirtiéndose por ello en la dirección de la profundidad focal de la luz láser L incidente sobre el objeto 1. Por lo tanto, el movimiento de la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje Z puede situar el punto de convergencia de luz P de luz láser L dentro del objeto 1. Este movimiento del punto de convergencia de luz P en la dirección del eje X (Y) se efectúa mediante el movimiento del objeto 1 en la dirección del eje X (Y) mediante la plataforma 109 (111) del eje X (Y). La plataforma 109 (111) del eje X (Y) es un ejemplo de medio de movimiento.

La fuente de luz láser 101 es un láser de Nd:YAG que genera una luz láser de pulsos. Conocidos como otras clases de láser utilizables como la fuente de luz láser 101 se incluyen el láser de Nd:YVO₄, el láser de Nd:YLF y el láser de zafiro titanio. Para la formación de una zona de grietas o zona procesada por fusión, se usan preferiblemente el láser de Nd:YAG, el láser de Nd:YVO₄ y el láser de Nd:YLF. Para la formación de una zona de cambio del índice de refracción, se usa preferiblemente el láser de zafiro titanio.

Aunque la luz láser de pulsos se usa para procesamiento del objeto 1 en el primer ejemplo, se puede usar también una luz láser de onda continua siempre que genere absorción de multifotones. Los medios de luz láser incluyen haces de láser. La lente de convergencia de luz 105 es un ejemplo de medio de convergencia de luz. La plataforma 113 del eje Z es un ejemplo del medio para la localización del punto de convergencia de luz dentro del objeto a ser procesado. El punto de convergencia de luz de la luz láser se puede situar dentro del objeto a ser procesado mediante el movimiento relativo de la lente de convergencia de luz 105 en la dirección del eje Z.

El aparato de procesamiento por láser 100 comprende adicionalmente una fuente de luz de observación 117 para la generación de un haz de luz visible para la irradiación del objeto 1 a ser procesado montado sobre la mesa de montaje 107; y un repartidor 119 del haz de luz visible dispuesto sobre el mismo eje óptico que el del espejo dicróico 103 y la lente de convergencia de luz 105. El espejo dicróico 103 se dispone entre el divisor del haz 119 y la lente de

convergencia de luz 105. El divisor del haz 119 tiene una función de reflexión de aproximadamente la mitad del haz de luz visual y la transmisión de la mitad restante a través de él, y se dispone de modo que cambie la orientación del eje óptico del haz de luz visual en 90°. La mitad de la de luz visible generada por la fuente de luz de observación 117 se refleja por el repartidor del haz 119, y por ello el haz de luz visible reflejado se transmite a través del espejo
 5 dicróico 103 y de la lente de convergencia de luz 105, de modo que ilumine la superficie 3 del objeto 1 incluyendo la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y similares.

El aparato de procesamiento por láser 100 comprende adicionalmente dispositivos de captura de imagen 121 y una
 10 lente de imagen 123 dispuesta sobre el mismo eje óptico que el del repartidor del haz 119, espejo dicróico 103, y lente de convergencia de luz 105. Un ejemplo de dispositivo de captura de imagen 121 es una cámara CCD (dispositivo de acoplamiento de carga). La luz reflejada del haz de luz visual que ha iluminado la superficie 3 que incluye la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y similares se transmite a través de la lente de convergencia de luz 105, espejo dicróico 103, y el repartidor del haz 119 y forma la imagen por medio de la lente de imagen 123, mediante lo que la imagen así formada se captura mediante el dispositivo de imagen 121, de modo
 15 que produzca unos datos de imagen.

El aparato de procesamiento por láser 100 comprende adicionalmente un procesador de datos de imagen 125 para la introducción de los datos de imagen producidos por el dispositivo de imagen 121, un controlador global 127 para el control del aparato de procesamiento por láser 100 en su conjunto, y un monitor 129. De acuerdo con los datos de
 20 imagen, el procesador de datos de imagen 125 calcula los datos del punto focal para la localización del punto focal de la luz visible generada la fuente de luz de observación 117 sobre la superficie 3. De acuerdo con los datos del punto focal, el controlador de plataforma 115 controla el movimiento de la plataforma 113 del eje Z, de modo que el punto focal de la luz visible se sitúe sobre la superficie 3. Por ello, el procesador de datos imagen 125 funciona como una unidad de autoenfoque. También, de acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imagen 125
 25 calcula los datos de imagen tal como una imagen ampliada de la superficie 3. Los datos de imagen se envían al controlador global 127, se someten a varias clases de procesamiento, y a continuación se envían al monitor 129. En consecuencia, se visualiza sobre el monitor 129 una imagen ampliada o similar.

Los datos del controlador de plataforma 115, los datos de imagen del procesador de datos imagen 125 y similares se
 30 proporcionan al controlador global 127. Asimismo de acuerdo con estos datos, el controlador global 127 regula el controlador de fuente de luz láser 102, la fuente de luz de observación 117, y el controlador de plataforma 115, controlando de ese modo el aparato de procesamiento por láser 100 en su conjunto. Por ello, el controlador global 127 funciona como una unidad de ordenador.

Con referencia a las Figs. 14 y 15, se explicará ahora el método de procesamiento por láser de acuerdo con un
 35 primer ejemplo de la realización. La Fig. 15 es un diagrama de flujo para la explicación de este método de procesamiento por láser. El objeto 1 a ser procesado es una oblea de silicio.

Primero, se determina una característica de absorción de luz del objeto 1 mediante un espectrofotómetro o similar
 40 que no se representa. De acuerdo con los resultados de la medición, se elige una fuente de luz láser 101 que genera una luz láser L que tiene una longitud de onda a la que el objeto 1 es transparente o muestra una baja absorción (S101). A continuación, se mide el grosor del objeto 1. De acuerdo con los resultados de la medición del grosor y del índice de refracción del objeto 1, se determina la cantidad de movimiento del objeto 1 en el eje Z (S103). Ésta es una cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del eje Z con referencia al punto de convergencia de luz de la luz
 45 láser L situada sobre la superficie 3 del objeto 1 para que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúe dentro del objeto 1. Esta cantidad de movimiento se suministra al controlador global 127.

El objeto 1 se monta sobre la mesa de montaje 107 del aparato de procesamiento por láser 100. A continuación, se
 50 genera luz visible desde la fuente de luz de observación 117. De modo que ilumine al objeto 1 (S105). La superficie 3 iluminada del objeto 1 que incluye la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, se captura mediante el dispositivo de captura de imagen 121. Los datos de imagen así obtenidos se envían al procesador de datos de imagen 125. De acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imagen 125 calcula dichos datos de punto focal de modo que el punto focal de la luz visible desde la fuente de luz de observación 117 se sitúe en la superficie 3 (S107).
 55

Los datos del punto focal se envían al controlador de plataforma 115. De acuerdo con los datos del punto focal, el controlador de plataforma 115 mueve la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje Z (S109). En consecuencia, el punto focal de luz visible desde la fuente de luz de observación 117 se sitúa en la superficie 3. De acuerdo con los
 60 datos de imagen, el procesador de datos de imagen 125 calcula unos datos de imagen ampliados de la superficie 3 del objeto que incluyen la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Los datos de imagen ampliada se envían al monitor 129 por medio del controlador global 127, mediante lo que la imagen ampliada de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y su proximidad se visualizan sobre el monitor 129.

Los datos de la cantidad de movimiento determinados en la etapa S103 se han suministrado al controlador global
 65 127 previamente, y se envían al controlador de plataforma 115. De acuerdo con los datos de la cantidad de movimiento, el controlador de plataforma 115 hace que la plataforma 113 del eje Z mueva al objeto 1 en la dirección

del eje Z en una posición en la que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúe dentro del objeto 1 (S111).

5 A continuación, se genera la luz láser L desde la fuente de luz láser 101, de modo que irradie la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en la superficie 3 del objeto con la luz láser L. Dado que el punto de convergencia de luz P de luz láser se sitúa dentro del objeto 1, se forma una zona procesada por fusión solamente dentro del objeto 1. Posteriormente, la plataforma del eje X 109 y la plataforma del eje Y 111 se mueven a lo largo de la línea 5 a ser cortada, de modo que forme una zona procesada por fusión a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, dentro del objeto 1 (S113). A continuación, el objeto 1 se curva a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, y por ello se corta (S115). Esto divide al objeto 1 en chips de silicio.

15 Se explicarán los efectos del primer ejemplo. En este caso, la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto se irradia con la luz láser de pulsos L en una condición que provoca la absorción de multifotones mientras se sitúa el punto de convergencia de luz P dentro del objeto 1. A continuación, se mueven la plataforma 109 del eje X y la plataforma 111 del eje Y, de modo que muevan al punto de convergencia de luz P a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. En consecuencia, se forma una zona modificada (por ejemplo una zona de grietas, una zona procesada por fusión, o una zona de cambio del índice de refracción) dentro del objeto 1 a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Cuando existe un cierto punto de inicio en una parte a ser cortada en el objeto a ser procesado, el objeto se puede cortar rompiéndolo con una fuerza relativamente pequeña. Por lo tanto, la rotura del objeto 1 a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mientras se usa una zona modificada como punto de inicio puede cortar el objeto 1 con una fuerza relativamente pequeña. Esto puede cortar el objeto 1 sin la generación de fracturas innecesarias que se desvíen de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en la superficie 3 del objeto 1.

25 También, en el primer ejemplo, el objeto 1 es irradiado con una luz láser de pulsos L en la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto bajo una situación de generación de absorción de multifotones en el objeto 1 mientras se localiza el punto de convergencia de luz P dentro del objeto 1. Por lo tanto, la luz láser de pulsos L se transmite a través del objeto 1 sin que sea sustancialmente absorbida en la superficie 3 del objeto 1, por lo que la superficie 3 no incurrirá en daños tal como la fusión debido a la formación de una zona modificada.

30 Tal como se ha explicado en lo precedente, el primer ejemplo puede cortar el objeto 1 sin la generación innecesariamente de fracturas que se desvíen de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y sin fusión en la superficie 3 del objeto. Por lo tanto, cuando la objeto es una oblea de semiconductor, por ejemplo, se puede cortar un chip de semiconductor a partir de la oblea de semiconductor sin generación de fracturas innecesarias que la desvíen de la línea lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y sin fusión en el chip de semiconductor. Lo mismo es válido para objetos a ser procesados cuya superficie esté conformada con patrones de electrodos, y aquellos cuya superficie está formada con dispositivos electrónicos tales como obleas piezoeléctricas y sustratos de vidrio formados con dispositivos de visualización tales como cristales líquidos. Por lo tanto, el primer ejemplo puede mejorar el rendimiento de los productos (por ejemplo, chips de semiconductor, chips de dispositivos piezoeléctricos, y dispositivos de visualización tales como cristal líquido) preparados mediante el corte del objeto a ser procesado.

45 También, dado que la línea 5 lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en la superficie 3 del objeto 1 no se funde, el primer ejemplo puede disminuir el ancho de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto (siendo el ancho el intervalo entre zonas a convertirse en chips de semiconductor en el caso de una oblea de semiconductor, por ejemplo). Esto incrementa el número de productos preparados a partir de un único objeto 1 a ser procesado, por lo que la productividad de los productos se puede mejorar.

50 Dado que se usa luz láser para el corte del objeto 1, el primer ejemplo permite un procesamiento más complicado que el obtenido mediante el troceado con un cortador de diamante. Por ejemplo, aun cuando la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto tenga una forma complicada tal como se muestra en la Fig. 16, el primer ejemplo permite el corte. Estos efectos se obtienen de modo similar en ejemplos que se explicarán a continuación.

55 Se puede proporcionar no solamente una única fuente de luz láser sino también una pluralidad de fuentes de luz láser. Por ejemplo, la Fig. 17 es una vista esquemática para la explicación del método de procesamiento por láser en el primer ejemplo de la realización en el que se proporcionan una pluralidad de fuentes de luz láser. En este caso, el objeto 1 es irradiado con tres haces de luz láser emitidos desde fuentes de luz láser 15, 17, 19 respectivas desde diferentes direcciones mientras se sitúa el punto de convergencia de luz P dentro del objeto 1. Los haces láser respectivos de las fuentes de luz láser 15, 17 se hacen incidir sobre el objeto 1 desde la superficie 3 del mismo. El haz de luz láser desde la fuente de luz láser 19 se hacen incidir sobre el objeto 1 desde la cara posterior 21 del mismo. Dado que se usa una pluralidad de fuentes de luz láser, esto hace posible que el punto de convergencia de luz tenga una intensidad de campo eléctrico con tal magnitud que tenga lugar la absorción de multifotones, incluso aun cuando la luz láser sea una luz láser de onda continua que tenga una potencia inferior que la luz láser de pulsos. Por la misma razón, se puede generar la absorción de multifotones incluso sin una lente de convergencia de luz. Aunque se forme un punto de convergencia de luz P mediante las tres fuentes de luz láser 15, 17, 19, la

presente invención no está limitada a ello siempre que exista en ella la pluralidad de fuentes de luz láser.

La Fig. 18 es una vista esquemática para la explicación de otro método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo, en el que se proporciona una pluralidad de fuentes de luz láser. Este ejemplo comprende tres matrices de secciones de fuente de luz 25, 27, 29, cada una teniendo una pluralidad de fuentes de luz láser 23 que se alinean a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Entre la matriz de secciones de fuente de luz 25, 27, 29, los haces láser emitidos desde las fuentes de luz láser 23 dispuestos en la misma fila forman un único punto de convergencia de luz (por ejemplo, el punto de convergencia de luz P_1). Este ejemplo puede formar una pluralidad de puntos de convergencia de luz P_1, P_2, \dots a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, mediante lo que se puede mejorar la velocidad de procesamiento. También, en este ejemplo, se puede formar una pluralidad de filas de zonas modificadas al mismo tiempo tras el barrido guiado por láser sobre la superficie 3 en una dirección ortogonal a la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto.

[Segundo ejemplo]

Se explicará ahora un segundo ejemplo. Este ejemplo se dirige a un método de corte y un aparato de corte para un material transmisor de luz. El material transmisor de luz es un ejemplo de los objetos a ser procesados. En este ejemplo, se usa una oblea de dispositivo piezoeléctrico (sustrato) que tenga un grosor de aproximadamente $400 \mu\text{m}$ hecho de LiTaO_3 como material transmisor de luz.

El aparato de corte de acuerdo con el segundo ejemplo está constituido por el aparato de procesamiento por láser 100 mostrado en la Fig. 14 y el aparato mostrado en las Figs. 19 y 20. Se explicará el aparato mostrado en las Figs. 19 y 20. La oblea del dispositivo piezoeléctrico 31 es sujeta por una lámina (película) con forma de oblea 33 que actúa como un medio de sujeción. En la lámina con forma de oblea 33, la cara sobre el lado que sujeta la oblea del dispositivo piezoeléctrico 31 está hecha de una cinta de resina adhesiva o similar, y tiene una elasticidad. La lámina con forma de oblea 33 se fija sobre una mesa de montaje 107 mientras se sujeta a un sujetador de muestras 35. Tal como se muestra en la Fig. 19, la oblea 31 de dispositivos piezoeléctricos incluye un cierto número de chips 37 de dispositivos piezoeléctricos que se cortan y separan posteriormente. Cada chip 37 de dispositivo piezoeléctrico tiene una sección de circuito 39. La sección de circuito 39 se forma sobre la superficie de la oblea 31 de dispositivos piezoeléctricos para cada chip 37 de dispositivo piezoeléctrico, mientras se forma un espacio α predeterminado (aproximadamente $80 \mu\text{m}$) entre secciones de circuito adyacentes 39. La Fig. 20 muestra un estado en donde se forman zonas de grietas 9 minúsculas como partes modificadas dentro de la oblea 31 de dispositivos piezoeléctricos.

A continuación, con referencia a la Fig. 21, se explicará el método de corte del material transmisor de luz de acuerdo con el segundo ejemplo. Primero, se determina una característica de absorción de luz del material transmisor de luz (oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 hecha de LiTaO_3 en el segundo ejemplo) que se convertirá en el material a ser cortado (S201). La característica de absorción de luz se puede medir mediante el uso de un espectrofotómetro o similar. Una vez que se determina la característica de absorción de luz, se elige una fuente de luz láser 101 que genera una luz láser L que tiene una longitud de onda a la que el material a ser cortado es transparente o muestra una baja absorción, de acuerdo con los resultados de la determinación (S203). En el segundo ejemplo, se elige un láser de YAG del tipo de ondas de pulso (PW) que tenga una longitud de onda fundamental de 1064 nm . Este láser de YAG tiene una frecuencia de repetición de pulsos de 20 Hz , un ancho de pulso de 6 ns y una energía de pulso de $300 \mu\text{J}$. El diámetro del punto de luz láser L emitido desde el láser de YAG es de aproximadamente $20 \mu\text{m}$.

A continuación se mide (S205) el grosor del material a ser cortado. Una vez se ha medido el grosor del material a ser cortado, se determina la cantidad de desplazamiento (cantidad de movimiento) del punto de convergencia de luz de la luz láser L desde la superficie (cara de entrada para la luz láser L) del material a ser cortado en la dirección del eje óptico de la luz láser L, de modo que se posiciona el punto de convergencia de luz de la luz láser L dentro del material a ser cortado de acuerdo con el resultado de la medición (S207). Por ejemplo, de conformidad con el grosor y el índice de refracción del material a ser cortado, la cantidad de desplazamiento (cantidad de movimiento) del punto de convergencia de luz de la luz láser L se fija en $1/2$ del grosor del material a ser cortado.

Tal como se muestra en la Fig. 22, debido a la diferencia entre el índice de refracción en la atmósfera (por ejemplo el aire) que rodea al material a ser cortado y el índice de refracción del material a ser cortado, la posición real del punto de convergencia de luz P de la luz láser se sitúa más profundamente que la posición del punto de convergencia de luz Q de la luz láser L que converge mediante la lente de convergencia de luz 105 desde la superficie del material a ser cortado (oblea de dispositivo piezoeléctrico 31). Concretamente, la relación de la "cantidad de movimiento de la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje óptico de la luz láser L \times el índice de refracción del material a ser cortado = cantidad real de movimiento del punto de convergencia de luz de la luz láser L" mantenida en el aire. La cantidad de desplazamiento (cantidad de movimiento) del punto de convergencia de la luz láser L se ajusta a la vista de la relación anteriormente mencionada (entre el grosor y el índice de refracción del material a ser cortado). Posteriormente, el material a ser cortado sujeta por la lámina con forma de oblea 33 se monta sobre la mesa de montaje 107 colocada sobre la plataforma de ejes X-Y-Z (constituida por la plataforma 109 del eje X, la plataforma 111 del eje Y, y la plataforma 113 del eje Z en esta realización) (S209). Después de que el montaje del material a ser

5 cortado se complete, se emite luz desde la fuente de luz de observación 117, de modo que irradie el material a ser cortado con la luz así emitida. A continuación, de acuerdo con el resultado de las imágenes en el dispositivo de captura de imágenes 121, se lleva a cabo el ajuste del enfoque mediante el movimiento de la plataforma 113 del eje Z de modo que sitúe el punto de convergencia de luz de la luz láser L sobre la superficie del material a ser cortado (S211). En este caso, la imagen de observación de la superficie de la oblea del dispositivo piezoeléctrico 31 obtenida mediante la fuente de luz de observación 117 es capturada por el dispositivo de captura de imagen 121, mientras que el procesador de datos de imagen 125 determina la posición de movimiento de la plataforma 113 del eje Z de acuerdo con el resultado de las imágenes de modo que la luz emitida desde la fuente de luz de observación 117 forme un punto focal sobre la superficie del material a ser cortado, y produzca la salida de la posición así determinada al controlador de plataforma 115. De acuerdo con la señal de salida desde el procesador de datos de imagen 125, el controlador de la plataforma 115 controla la plataforma 113 del eje Z de modo que la posición del movimiento de la plataforma 113 del eje Z se sitúe en una posición para hacer que la luz emitida desde la fuente de luz de observación 117 forme un punto focal sobre el material a ser cortado, es decir, para el posicionamiento del punto focal de la luz láser L sobre la superficie del material a ser cortado.

15 Después de que se complete el ajuste del enfoque de la luz emitida desde la fuente de luz de observación 117, el punto de convergencia de luz de la luz láser L se mueve a un punto de convergencia de luz que corresponde al grosor e índice de refracción del material a ser cortado (S213). En este caso, el controlador global 127 envía una señal de salida al controlador de plataforma 115 de modo que mueva la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje óptico de la luz láser L en la cantidad de desplazamiento del punto de convergencia de luz de la luz láser determinado en conformidad con el grosor e índice de refracción del material a ser cortado, mediante lo que el controlador de plataforma 115 que ha recibido la señal de salida regula la posición de movimiento de la plataforma 113 del eje Z. Como se ha mencionado anteriormente, la colocación del punto de convergencia de luz de la luz láser L dentro del material a ser cortado se completa mediante el movimiento de la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje óptico de la luz láser L en una cantidad de desplazamiento del punto de convergencia de luz de la luz láser L determinado en conformidad con el grosor e índice de refracción del material a ser cortado (S215).

20 Después de que se complete la colocación del punto de convergencia de luz de la luz láser L dentro del material a ser cortado, el material a ser cortado es irradiado con luz láser L, y se mueve la plataforma 109 del eje X y plataforma 111 del eje Y de conformidad con un patrón de corte deseable (S217). Tal como se muestra en la Fig. 22, la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101 converge mediante las lentes de convergencia de luz 105 de modo que el punto de convergencia de luz P se sitúe dentro de la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 que mira a un hueco predeterminado (80 μm tal como se ha mencionado anteriormente) formado entre secciones de circuito adyacentes 39. El patrón de corte deseable anteriormente mencionado se fija de modo que el espacio formado entre secciones de circuito adyacentes 39 de separación de una pluralidad de chips de dispositivos piezoeléctricos 37 de la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 se irradie con la luz láser L, mientras que la luz láser L se irradia mientras el estado de irradiación de la luz láser L se observa a través del monitor 129.

30 En este caso, tal como se muestra en la Fig. 22, la luz a láser L que irradia el material a ser cortado converge mediante la lente de convergencia de luz 105 en un ángulo en el que las secciones del circuito 39 formadas sobre la superficie de la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 (la superficie sobre la que es incidente la luz láser L) no se irradian con la luz láser L. La convergencia de la luz láser L en un ángulo con el que las secciones del circuito 39 no se irradian con la luz láser L puede impedir que la luz láser L entre en las secciones del circuito 39 y protege a las secciones del circuito 39 contra la luz láser L.

45 Cuando la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101 converge de modo que el punto de convergencia de luz P se sitúe dentro de la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 mientras que la densidad de la energía de la luz láser L en el punto de convergencia de luz P excede un umbral de daños ópticos o de rotura óptica del dieléctrico, se pueden formar diminutas zonas de grietas 9 solamente en el punto de convergencia de luz P dentro de la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 que actúan como un material a ser cortado y en su proximidad. En este caso, la superficie y cara posterior del material a ser cortado (oblea de dispositivos piezoeléctricos 31) no se dañará.

50 Ahora, con referencia a las Figs. 23 a 27, se explicará la formación de grietas mediante el movimiento del punto de convergencia de luz de la luz láser L. El material a ser cortado 32 (material transmisor de luz) que tiene una forma paralelepípedica sustancialmente regular mostrada en la Fig. 23, es irradiado con luz láser L de modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser L se sitúe dentro del material a ser cortado 32, mediante lo que se forman diminutas zonas de grietas 9 solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material a ser cortado 32 y su proximidad como se muestra en las Figs. 24 y 25. El barrido de la luz láser L o el movimiento del material a ser cortado 32 se regula de modo que se mueva el punto de convergencia de luz de la luz láser L en la dirección longitudinal D del material a ser cortado 32 que intersecta el eje óptico de la luz láser L.

60 Dado que la luz láser L se emite desde una fuente de luz láser 101 de una forma pulsante, se forma una pluralidad de zonas de grietas 9 con un espacio entre ellas que corresponde a la velocidad de escaneando de la luz láser L o la velocidad de movimiento del material a ser cortado 32 a lo largo de la dirección longitudinal D del material a ser cortado 32 cuando la luz láser L se escanea o el material a ser cortado 32 se mueve. La velocidad de escaneado de la luz láser L o la velocidad de movimiento del material a ser cortado 32 se pueden disminuir, de modo que se acorte

el espacio entre zonas de grietas 9, incrementando de ese modo el número de las zonas de grietas 9 así formadas tal como se muestra en la Fig. 26. La velocidad de barrido de la luz láser L o la velocidad de movimiento del material a ser cortado se pueden ralentizar adicionalmente, de modo que se forme la zona de grietas 9 continuamente en la dirección de barrido de la luz láser L o la dirección de movimiento del material a ser cortado 32, es decir, la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz de la luz láser L tal como se muestra en la Fig. 27. El ajuste del espacio entre las zonas de grietas 9 (número de zonas de grietas 9 a formar) se puede realizar también mediante el cambio de la relación entre la frecuencia de repetición de la luz láser L y la velocidad de movimiento del material a ser cortado 32 (plataforma del eje X o plataforma del eje Y). También, se puede mejorar el rendimiento cuando la frecuencia de repetición de la luz láser L y velocidad de movimiento del material a ser cortado 32 se incrementan.

Una vez se forman las zonas de grietas 9 a lo largo del patrón de corte deseable anteriormente mencionado (S219), se genera una tensión debido a la aplicación de una fuerza externa física, cambios ambientales, y similares dentro del material a ser cortado, en la parte con formación de zonas de grietas 9 en particular, de modo que crezcan las zonas de grietas 9 formadas solamente dentro del material a ser cortado (el punto de convergencia de luz y su proximidad), cortando de ese modo el material a ser cortado en una posición con formación de zonas de grietas 9 (S221).

Con referencia a las Figs. 28 a 32, se explicará el corte del material a ser cortado tras la aplicación de una fuerza externa física. Primero, el material a ser cortado (oblea de dispositivo piezoeléctrico 31) con formación de zonas de grietas 9 a lo largo del patrón de corte deseable se coloca en un aparato de corte mientras está en un estado sujetado por la lámina con forma de oblea 33 agarrada por el sujetador de muestras 35. El aparato de corte tiene una boquilla de succión 34, que se explicará posteriormente, una bomba de succión (no representada) conectada a la boquilla de succión 34, una aguja de presión 36 (elemento de presión), medio de accionamiento de la aguja de presión (no representado) para el movimiento de la aguja de presión 36, y similares. Utilizable como el medio de accionamiento de la aguja de presión existe un actuador de equipos eléctricos, hidráulicos u otros. Las Figs. 28 a 32 no representan las secciones del circuito 39.

Una vez que se coloca la oblea del dispositivo piezoeléctrico 31 en el aparato de corte, la boquilla de succión 34 se aproxima a la posición que corresponde al chip del dispositivo piezoeléctrico 37 a ser aislado tal como se muestra en la Fig. 28. Se acciona un aparato de bomba de succión mientras está en un estado en el que la boquilla de succión 34 se sitúa más próxima a, o hace tope contra, el chip de dispositivo piezoeléctrico 37 a ser aislado, mediante lo que la boquilla de succión 34 atrae al chip de dispositivo piezoeléctrico 37 (oblea de dispositivo piezoeléctrico 31) a ser aislado tal como se muestra en la Fig. 29. Una vez que la boquilla de succión 34 atrae al chip de dispositivo piezoeléctrico 37 (oblea del dispositivo piezoeléctrico 31) a ser aislado, la aguja de presión 36 se mueve a la posición que corresponde al chip de dispositivo piezoeléctrico 37 a ser aislado desde la cara posterior de la lámina con forma de oblea 33 (cara posterior de la superficie sujeta con la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31) tal como se muestra en la Fig. 30.

Cuando la aguja de presión 36 se mueve adicionalmente después de hacer tope contra la cara posterior de la lámina de la oblea 33, la lámina de la oblea 33 se deforma, mientras que la aguja de presión 36 aplica una tensión a la oblea del dispositivo piezoeléctrico 31 desde el exterior, por lo que se genera una tensión en la parte de la oblea formada con zonas de grietas 9, lo que hace crecer las zonas de grietas 9. Cuando las zonas de grietas 9 crecen hasta la superficie y la cara posterior de la oblea del dispositivo piezoeléctrico 31, la oblea del dispositivo piezoeléctrico 31 se corta en una parte extrema del chip del dispositivo piezoeléctrico 37 a ser aislado tal como se muestra en la Fig. 31, mediante lo que el chip de dispositivo piezoeléctrico 37 se aísla de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31. La lámina con forma de oblea 33 tiene una adhesividad tal como se ha mencionado anteriormente, siendo capaz por ello de impedir que los chips de dispositivos piezoeléctricos 37 cortados y separados se caigan.

Una vez que el chip de dispositivo piezoeléctrico 37 se separa de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31, la boquilla de succión 34 y la aguja de presión 36 se mueven separándose de la lámina con forma de oblea 33. Cuando la boquilla de succión 34 y la aguja de presión 36 se mueven, el chip de dispositivo piezoeléctrico 37 aislado se libera de la lámina con forma de oblea 33 tal como se muestra en la Fig. 32, dado que este último es atraído a la boquilla de succión 34. En este caso, un aparato de soplado de aire ionizado, que no se representa, se usa para el envío de aire ionizado en la dirección de las flechas B en la Fig. 32, mediante lo que el chip de dispositivo piezoeléctrico 37 aislado y atraído a la boquilla de succión 34, y la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 (superficie) sujeta por la lámina con forma de oblea 32 se limpian con el aire ionizado. En este caso, se puede proporcionar un aparato de succión en lugar de la limpieza por aire ionizado. De modo que los chips del dispositivo piezoeléctrico 37 separados y cortados y la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 se limpian dado que el polvo y similares es aspirado. Conocido como un método de corte de material a ser cortado debido a cambios medioambientales hay uno que imparte un cambio de temperatura al material a ser cortado que tiene las zonas de grietas 9 solo dentro de él. Cuando se imparte un cambio de temperatura al material a ser cortado como tal, puede tener lugar una distorsión térmica en la parte del material con formación de zonas de grietas 9, de modo que las zonas de grietas crezcan, por lo que se puede cortar el material a ser cortado.

De ese modo, en el segundo ejemplo, la lente de convergencia de luz 105 hace converger la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101 de modo que su punto de convergencia de luz se sitúe dentro del material

transmisor de luz (oblea de dispositivos piezoeléctricos 31), por lo que la densidad de energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz supera el umbral de daños ópticos o de rotura óptica dieléctrica, lo que forma diminutas grietas 9 solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y su proximidad. Dado que el material transmisor de luz se corta en las posiciones de las zonas de grietas 9 así formadas, la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, por lo que la posibilidad de que ocurran daños de troceado, escamado, grietas sobre la superficie del material y similares se hace muy pequeña. Dado que el material transmisor de luz se corta a lo largo de las zonas de grietas 9 formadas por los daños ópticos o rotura óptica dieléctrica del material transmisor de luz, se mejora la estabilidad direccional del corte, de modo que la dirección del corte se puede controlar fácilmente. También, el ancho del troceado se puede hacer más pequeño que el alcanzado en el troceado con un cortador de diamante, por lo que el número de materiales transmisores de luz cortados a partir del material transmisor de luz se puede incrementar. Como resultado de esto, el segundo ejemplo puede cortar el material transmisor de luz bastante fácil y apropiadamente.

También, se genera una tensión dentro del material a ser cortado debido a la aplicación de fuerzas externas físicas, cambios ambientales y similares, de modo que crezcan las zonas de grietas 9 formadas para cortar el material transmisor de luz (oblea de dispositivos piezoeléctricos 31), mediante lo que el material transmisor de luz se puede cortar fiablemente en las posiciones de las zonas de grietas 9 formadas.

También, la aguja de presión 36 se usa para la aplicación de una tensión al material transmisor de luz (oblea de dispositivos piezoeléctricos 31), de modo que crezcan las zonas de grietas 9 formadas para cortar el material transmisor de luz (oblea de dispositivos piezoeléctricos 31), por lo que el material transmisor de luz se puede cortar adicionalmente de modo fiable en las posiciones de las zonas de grietas 9 formadas.

Cuando la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 (material transmisor de luz) formada con una pluralidad de secciones de circuitos 39 se corta y se separa en chips de dispositivos piezoeléctricos 37 individuales, la lente de convergencia de luz 105 hace converger la luz láser L de modo que el punto de convergencia de luz se sitúa dentro de la parte de la oblea enfrentada al espacio formado entre secciones de circuito adyacentes 39, y forma las zonas de grietas 9, por lo que la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 se puede cortar fiablemente en la posición del espacio formado entre secciones de circuito 39 adyacentes.

Cuando el material transmisor de luz (oblea de dispositivos piezoeléctricos 31) se mueve o se hace un barrido con la luz láser L de modo que se mueva el punto de convergencia de luz en una dirección que intersecta el eje óptico de luz láser L, por ejemplo, una dirección ortogonal al mismo, la zona de grietas 9 se forma de modo continuo a lo largo de la dirección del movimiento del punto de convergencia de luz, de modo que se mejora adicionalmente la estabilidad direccional del corte, lo que hace posible controlar la dirección de corte más fácilmente.

También, en el segundo ejemplo, difícilmente existen residuos emisores de polvo, de modo que no es necesario ningún agua de lubricación/limpieza para impedir que los residuos emisores de polvo se dispersen, por lo que se puede realizar un procesamiento en seco en la etapa de corte.

En el segundo ejemplo, dado que la formación de una parte modificada (zona de grietas 9) se realiza mediante un procesamiento sin contacto con la luz láser L, no tienen lugar los problemas de duración de las cuchillas, su frecuencia de recolocación, y similares en el troceado producido por cortadores de diamante. También, dado que la formación de una parte modificada (zona de grietas 9) se realiza mediante un proceso sin contacto con la luz láser L, el segundo ejemplo puede cortar el material transmisor de luz a lo largo de un patrón de corte que corte el material transmisor de luz sin cortar completamente el mismo. La presente invención no está limitada al segundo ejemplo mencionado anteriormente. Por ejemplo, el material transmisor de luz puede ser una oblea de semiconductor, un sustrato de vidrio, o similar sin quedar limitado a la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31. También, la fuente de luz láser 101 se puede seleccionar apropiadamente de conformidad con una característica de absorción óptica del material transmisor de luz a ser cortado. Aunque las diminutas zonas 9 se forman como una parte modificada tras la irradiación con la luz láser L en el segundo ejemplo, esto no es restrictivo. Por ejemplo, el uso de una fuente de luz láser de pulsos ultracortos (por ejemplo un láser de femtosegundos (fs)) puede formar una parte modificada producida por un cambio en el índice de refracción (índice de refracción más alto), siendo capaz por ello de cortar el material transmisor de luz sin generar las zonas de grietas 9 mediante la utilización de dicho cambio de característica mecánica.

Aunque el ajuste del foco de la luz láser L se lleva a cabo mediante el movimiento de la plataforma 113 del eje Z en el aparato de procesamiento por láser 100, ésta se puede efectuar mediante el movimiento de la lente de convergencia de luz 105 en la dirección del eje óptico de la luz láser L sin quedar restringida por ello.

Aunque la plataforma 109 del eje X y plataforma 111 del eje Y se mueven de conformidad con un patrón de corte deseable en el aparato de procesamiento por láser 100, esto no es restrictivo, por lo que se puede hacer un barrido con la luz láser L de conformidad con un patrón de corte deseable.

Aunque la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 se corta por la aguja de presión 36 después de ser atraída a la boquilla de succión 34, esto no es restrictivo, por lo que la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 se puede cortar

5 por la aguja de presión 36, y a continuación el chip de dispositivo piezoeléctrico 37 cortado y aislado se puede atraer a la boquilla de succión 34. En este caso, cuando la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 se corta por la presión de la aguja 36 después de que la oblea de dispositivos piezoeléctricos 31 sea atraída a la boquilla de succión 34, la superficie del chip de dispositivo piezoeléctrico 37 cortado y aislado se cubre con la boquilla de succión 34, lo que puede impedir que el polvo y similares se adhieran a la superficie del chip de dispositivo piezoeléctrico 37.

10 También, cuando se usa un dispositivo de captura de imagen 121 para rayos infrarrojos, el ajuste del enfoque se puede llevar a cabo mediante la utilización de la luz reflejada de la luz láser L. En este caso, es necesario que se use un semiespejo en lugar del espejo dicróico 103, mientras se dispone un dispositivo óptico entre el semiespejo y la fuente de luz láser 101, lo que suprime la luz de retorno a la fuente de luz láser 101. En este caso, se prefiere que la salida de la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101 en el momento del ajuste del enfoque se fije en un nivel de energía más bajo que el de la salida para la formación de grietas, de modo que la luz láser L para llevar a cabo el ajuste del enfoque no dañe el material a ser cortado.

15 Se explicarán ahora peculiaridades características desde los puntos de vista del segundo ejemplo.

20 El método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con un aspecto de la presente invención comprende una etapa de formación de una parte modificada de convergencia de la luz láser emitida desde una fuente de luz láser de modo que su punto de convergencia de luz se sitúe dentro del material transmisor de luz, de modo que forme una parte modificada solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad; y una etapa de corte, de corte del material transmisor de luz en la posición de la parte modificada así formada.

25 En el método de corte del material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, la luz láser se hace converger de modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa dentro del material transmisor de luz en la etapa de formación de la parte modificada, en donde la parte modificada se forma solamente en el punto de convergencia de la luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad. En la etapa de corte, el material transmisor de luz se corta en una posición de la parte modificada así formada, de modo que la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, por lo que la posibilidad de que ocurran daños de troceado, desprendimientos, grietas en la superficie del material y similares también se convierte en muy baja. Dado que el material transmisor de luz se corta en la posición de la parte modificada así formada, se mejora la estabilidad direccional del corte, de modo que la dirección de corte se puede controlar fácilmente. También, el ancho del trozo se puede realizar más pequeño que con el troceado alcanzado con un cortador de diamante, por lo que se puede incrementar el número de materiales transmisores de luz cortados a partir de un material transmisor de luz. Como resultado de esto, la presente invención puede cortar el material transmisor de luz bastante fácil y apropiadamente.

35 También, en el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, difícilmente existen residuos emisores de polvo, de modo que no es necesario ningún agua de lubricación/limpieza para impedir que los residuos emisores de polvo se desprendan afuera, por lo que se puede realizar un procesamiento en seco en la etapa de corte.

45 En el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, dado que la formación de una parte modificada se realiza mediante un procesamiento con luz láser sin contacto, los problemas de duración de cuchillas, su frecuencia de sustitución, y similares en el troceado producido por cortadores de diamante no tendrán lugar. También, dado que la formación de una parte modificada se realiza mediante un procesamiento con luz láser sin contacto, el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto puede cortar el material transmisor de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material transmisor de luz sin cortar completamente el mismo.

50 Preferiblemente, se forma el material transmisor de luz con una pluralidad de secciones de circuito, mientras que la luz láser se hace converger de modo que el punto de convergencia de luz se sitúa dentro de la parte del material transmisor de luz enfrentada al hueco formado entre las secciones de circuito adyacentes en la etapa de formación de la parte modificada, de modo que forme la parte modificada. Con dicha configuración, el material transmisor de luz se puede cortar fiablemente en la posición del espacio formado entre secciones de circuito adyacentes.

55 Cuando se irradia el material transmisor de luz con luz láser en la etapa de formación de la parte modificada, se prefiere que la luz láser se haga converger en un ángulo en el que las secciones del circuito no son irradiadas con la luz láser. La convergencia de la luz láser con un ángulo para el que las secciones de circuito no se irradien con la luz láser cuando se irradia el material transmisor de luz con la luz láser en la etapa de formación de la parte modificada como tal, puede impedir que la luz láser entre en las sesiones del circuito y protege a las secciones del circuito contra la luz láser.

65 Preferiblemente, en la etapa de formación de la parte modificada, el punto de convergencia de luz se mueve en una dirección que intersecta el eje óptico de la luz láser, de modo que forme una parte modificada continuamente a lo largo de la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz. Cuando el punto de convergencia de luz se mueve en una dirección que intersecta el eje óptico de la luz láser en la etapa de formación de la parte modificada

como tal, de modo que forme la parte modificada continuamente a lo largo de la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz, se mejora adicionalmente la estabilidad direccional del corte, lo que hace adicionalmente más fácil controlar la dirección de corte.

5 El método de corte del material transmisor de luz de acuerdo con un aspecto comprende una etapa de formación de grietas por la luz láser de convergencia emitida a partir de una fuente de luz láser de modo que su punto de convergencia de luz se sitúe dentro del material transmisor de luz, de modo que forme solamente una grieta en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad; y una etapa de corte, de corte del material transmisor de luz en la posición de la grieta así formada.

10 En el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, la luz láser se hace converger de modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa dentro del material transmisor de luz, de modo que la densidad de energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz exceda un umbral de daños ópticos o rotura óptica del dieléctrico del material transmisor de luz, por lo que se forma una grieta solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad. En la etapa de corte, el material transmisor de luz se corta en la posición de las grietas así formada, de modo que la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, por lo que la posibilidad de que ocurran daños del troceado, desprendimientos, grietas sobre la superficie del material y similares también se hace muy baja. Dado que el material transmisor de luz se corta en la posición de la grieta formada mediante un daño óptico o rotura óptica del dieléctrico, la estabilidad direccional del corte se mejora, de modo que la dirección de corte se puede controlar fácilmente. También, el ancho del troceado se puede hacer más pequeño que el alcanzado en el troceado con un cortador de diamante, por lo que el número de materiales transmisores de luz cortados a partir de un material transmisor de luz se puede incrementar. Como resultado de esto, la presente invención puede cortar el material transmisor de luz bastante fácil y apropiadamente.

25 También, en el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, los residuos emisores de polvo difícilmente existen, de modo que no es necesario ningún agua de lubricación/limpieza para impedir que los residuos emisores de polvo se desprendan, por lo que se puede realizar un procesamiento en seco en la etapa de corte.

30 En el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, dado que la formación de una grieta se realiza mediante un procesamiento con luz láser sin contacto, no tendrán lugar los problemas de durabilidad de las cuchillas, su frecuencia de sustitución y similares en el troceado producido por cortadores de diamante. También dado que la formación de una grieta se realiza mediante un procesamiento con la luz láser sin contacto, el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto de la presente invención puede cortar el material transmisor de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material transmisor de luz sin cortar completamente el mismo.

40 Preferiblemente, en la etapa de corte, el material transmisor de luz se corta mediante crecimiento de la grieta formada. El corte del material transmisor de luz mediante crecimiento de la grieta formada en la etapa de corte como tal puede cortar fiablemente el material transmisor de luz en la posición de la grieta formada.

45 Preferiblemente, en la etapa de corte, se aplica una tensión al material transmisor de luz mediante el uso de un elemento de presión, de modo que crezca una grieta, cortando de ese modo el material transmisor de luz. Cuando se aplica una tensión al material transmisor de luz en la etapa de corte mediante el uso de un elemento de presión como tal, de modo que crezca una grieta, cortando de ese modo el material transmisor de luz, el material transmisor de luz se puede cortar fiablemente adicionalmente en la posición de la grieta.

50 El aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con un aspecto comprende una fuente de luz láser; medios de sujeción para mantenimiento del material transmisor de luz; un dispositivo óptico para convergencia de la luz láser emitida desde la fuente de luz láser de modo que un punto de convergencia de la luz del mismo se sitúe dentro del material transmisor de luz; y medios de corte para el corte del material transmisor de luz en la posición de una parte formada solamente en el punto de convergencia de luz de la luz láser dentro del material transmisor de luz y en su proximidad.

55 En el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, el dispositivo óptico hace converger la luz láser de modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúe dentro del material transmisor de luz, por lo que una parte modificada se forma solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad. A continuación, el medio de corte corta el material transmisor de luz en la posición de la parte modificada formada solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad, por lo que el material transmisor de luz se corta fiablemente a lo largo de la parte modificada así formada. En consecuencia, la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, por lo que la posibilidad de que tengan lugar daños de troceado, desprendimientos, grietas sobre las superficies del material y similares se hace también muy baja. También, dado que el material transmisor de luz se corta lo largo de la parte modificada, se mejora la estabilidad direccional del corte, por lo que la dirección del corte se puede controlar fácilmente. También el ancho del troceado se puede hacer más pequeño que el alcanzado en el troceado con un cortador de diamante, por lo que el número de materiales transmisores de luz cortados a partir de un material

transmisor de luz se puede incrementar. Como resultado de esto, se puede cortar el material transmisor de luz bastante fácil y apropiadamente.

5 También, en el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, difícilmente existen residuos emisores de polvo, de modo que no es necesario ningún agua de lubricación/limpieza para impedir que los residuos emisores de polvo se desprendan afuera, por lo que se puede realizar un procesamiento en seco en la etapa de corte.

10 En el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, dado que la parte modificada se forma mediante un procesamiento con luz láser sin contacto, los problemas de duración de cuchillas, su frecuencia de sustitución, y similares en el troceado producido por cortadores de diamante no tendrán lugar. También, dado que la parte modificada se forma mediante un procesamiento con luz láser sin contacto tal como se ha mencionado anteriormente, el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto puede cortar el material transmisor de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material transmisor de luz sin
15 cortar completamente el mismo.

El aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con un aspecto comprende una fuente de luz láser; medios de sujeción para mantenimiento del material transmisor de luz; un dispositivo óptico para convergencia de la luz láser emitida desde la fuente de luz láser de modo que un punto de convergencia de la luz del mismo se
20 sitúe dentro del material transmisor de luz; y medios de corte para el corte del material transmisor de luz mediante el crecimiento de una grieta formada solamente en el punto de convergencia de luz de la luz láser dentro del material transmisor de luz y en su proximidad.

En el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, el dispositivo óptico hace
25 converger la luz láser de modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúe dentro del material transmisor de luz, de modo que la densidad de energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz supera un umbral de daños ópticos o rotura óptica del dieléctrico del material transmisor de luz, por lo que se forma una grieta solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad. A continuación, el medio de corte corta el material transmisor de luz mediante el crecimiento de la grieta formada
30 solamente en el punto de convergencia de luz dentro del material transmisor de luz y en su proximidad, por lo que el material transmisor de luz se corta fiablemente a lo largo de la grieta formada mediante un daño óptico o rotura óptica del dieléctrico del material transmisor de luz. En consecuencia, la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, por lo que la posibilidad de que tengan lugar daños de troceado, desprendimientos, grietas sobre las superficies del material y similares se hace también muy baja. Dado que el material transmisor de luz se corta a lo
35 largo de la grieta, se mejora la estabilidad direccional del corte, de modo que la dirección del corte se puede controlar fácilmente. También el ancho de troceado se puede hacer más pequeño que el alcanzado en el troceado con un cortador de diamante, por lo que el número de materiales transmisores de luz cortados a partir de un material transmisor de luz se puede incrementar. Como resultado de esto, la presente invención puede cortar el material transmisor de luz bastante fácil y apropiadamente.

40 También, en el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, difícilmente existen unos residuos emisores de polvo, de modo que no se necesita ningún agua de lubricación/limpieza para impedir que los residuos emisores de polvo se desprendan, por lo que se puede realizar un procesamiento en seco en la etapa de corte.

45 En el aparato para el corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto, dado que se forma la grieta mediante un procesamiento con luz láser sin contacto, no tendrán lugar los problemas de duración de cuchillas, su frecuencia de sustitución, y similares en el troceado producido por cortadores de diamante como en las técnicas convencionales. También, dado que la grieta se forma mediante un procesamiento con luz láser sin
50 contacto tal como se ha mencionado anteriormente, el método de corte de un material transmisor de luz de acuerdo con este aspecto de la presente invención puede cortar el material transmisor de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material transmisor de luz sin cortar completamente el mismo.

Preferiblemente, el medio de corte tiene un elemento de presión para la aplicación de una tensión al material transmisor de luz. Cuando el medio de corte tiene un elemento de presión para la aplicación de una tensión al material transmisor de luz como tal, se puede aplicar una tensión al material transmisor de luz durante el uso del elemento de presión, de modo que crezca una grieta, por lo que el material transmisor de luz se puede cortar
55 fiablemente adicionalmente en la posición de la grieta formada.

60 Preferiblemente, el material transmisor de luz es uno cuya superficie se forma con una pluralidad de secciones de circuito, mientras que el dispositivo óptico hace converger la luz láser de modo que el punto de convergencia de luz se sitúa dentro de la parte del material transmisor de luz que mira al espacio formado entre secciones de circuito adyacentes. Con dicha configuración, el material transmisor de luz puede cortarse fiablemente en la posición del espacio formado entre secciones de circuito adyacentes.

65

Preferiblemente, el dispositivo óptico hace converger la luz láser en un ángulo en el que las secciones del circuito no son irradiadas con la luz láser. Cuando el dispositivo óptico hace converger la luz láser en un ángulo en el que las secciones del circuito no son irradiadas con la luz láser como tal, puede impedir que la luz láser entre en las secciones del circuito y protege a las secciones del circuito contra la luz láser.

5 Preferiblemente, el aparato comprende adicionalmente un medio de movimiento del punto de convergencia de luz para movimiento del punto de convergencia de luz en una dirección que intersecta el eje óptico de la luz láser. Cuando el aparato comprende adicionalmente un medio de movimiento del punto de convergencia de luz para movimiento del punto de convergencia de luz en una dirección que intersecta el eje óptico de la luz láser como tal,
10 se puede formar de modo continuo una grieta a lo largo de la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz, de modo que se mejora la estabilidad direccional del corte adicionalmente, por lo que la dirección del corte se puede controlar adicionalmente fácilmente.

[Tercer ejemplo]

15 Se explicará un tercer ejemplo. En el tercer ejemplo y en un cuarto ejemplo que se explicará posteriormente, un objeto a ser procesado se irradia con luz láser de modo que la dirección de la polarización lineal de la luz láser polarizada linealmente se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto a ser procesado, mediante lo que se forma una zona modificada en el objeto a ser procesado. En
20 consecuencia, en el punto modificado formado con un único pulso de disparo (es decir, un único pulso de irradiación láser), el tamaño de la dirección que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto se puede hacer relativamente grande cuando la luz láser es una luz láser de pulsos. El presente inventor lo ha confirmado mediante un experimento. Las condiciones para el experimento son las siguientes:

- 25 (A) Objeto a ser procesado: oblea de vidrio Pyrex (que tenía un grosor de 700 μm y un diámetro exterior de 10,16 cm)
(B) Láser
Fuente de luz: bombas de láser de semiconductor Nd:YAG
Longitud de onda: 1064 nm
30 Área de sección transversal del punto de luz láser $3,14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$
Modo de oscilación: Pulso de conmutación Q
Frecuencia de repetición: 100 kHz
Ancho del pulso: 30 ns
Salida: salida < 1 mJ/pulso
35 Calidad de la luz láser: TEM₀₀
Característica de polarización: polarización lineal
(C) Lente de convergencia de luz
Magnificación: x50
NA: 0,55
40 Transmitancia respecto a la longitud de onda de la luz láser: 60%
(D) Velocidad de movimiento respecto a una mesa de montaje que monta al objeto a ser procesado: 100 mm/s

Cada una de las Muestras 1, 2, que era un objeto a ser procesado, se expuso a un único disparo de impulso de luz láser de pulsos mientras que el punto de convergencia de luz se situaba dentro del objeto a ser procesado, mediante
45 lo que se formó una zona de grietas producida por la absorción de multifotones dentro del objeto a ser procesado. La muestra 1 se irradió con una luz láser de pulsos polarizada linealmente, mientras que la muestra 2 se irradió con una luz láser de pulsos polarizada circularmente.

La Fig. 33 es una vista que muestra la fotografía de la Muestra 1 en planta, mientras que la Fig. 34 es una vista que muestra una fotografía de la Muestra 2 en planta. Estos planos son una cara de entrada 209 de la luz láser de pulsos. Las letras LP y CP indican esquemáticamente polarización lineal y polarización circular, respectivamente. La Fig. 35 es una vista que muestra esquemáticamente una sección transversal de la Muestra 1 mostrada en la Fig. 33 tomada a lo largo de la línea XXXV-XXXV. La Fig. 36 es una vista que muestra esquemáticamente una sección transversal de la Muestra 1 mostrada en la Fig. 34 tomada a lo largo de la línea XXXVI-XXXVI. Se forma un punto de
55 grieta 90 dentro de la oblea de vidrio 211 que es el objeto a ser procesado.

En el caso en el que la luz láser de pulsos es luz polarizada linealmente, tal como se muestra en la Fig. 35, el tamaño del punto de grieta 90 formado mediante un único disparo de un pulso es relativamente grande en la dirección de alineación con la dirección de la polarización lineal. Esto indica que la formación del punto de grieta 90 se acelera en esta dirección. Cuando la luz láser de pulsos es luz polarizada circularmente, por el contrario, el tamaño del punto de grieta 90 formado mediante un único disparo de un pulso no será la mayor en cualquier dirección específica tal como se muestra en la Fig. 36. El tamaño del punto de grieta 90 en la dirección que produce la longitud máxima es mayor en la Muestra 1 que en la Muestra 2.

65 El hecho de que la zona de grietas que se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto se puede formar de modo eficiente se explicará a partir de estos resultados del experimento. Las

Figs. 37 y 38 son vistas en planta de las zonas de grietas formada cada una a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en un objeto a ser procesado. Un número de puntos de grieta 90, cada uno formado mediante un único disparo de impulso, se forman a lo largo de una línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, mediante lo que se forma una zona de grietas 9 que se extiende a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. La Fig. 37 muestra la zona de grietas 9 formada tras la irradiación con la luz láser de pulsos de modo que la dirección de polarización lineal de la luz láser de pulsos se alinea con la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. La formación de los puntos de grieta 9 se acelera a lo largo de la dirección de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, por lo que su tamaño es relativamente grande en esta dirección. Por lo tanto, la zona de grietas 9 que se extiende a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, se puede formar mediante un pequeño número de disparos. Por otro lado, la Fig. 38 muestra la zona de grietas 9 formada tras la irradiación con la luz láser de pulsos de modo que la dirección de la polarización lineal de la luz láser de pulsos es ortogonal a la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Dado que el tamaño del punto de grieta 90 en la dirección de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado al objeto es relativamente pequeño, el número de disparos requeridos para la formación de la zona de grietas 9 se hace mayor que en el caso de la Fig. 37. Por lo tanto, el método de formación de la zona de grietas mostrado en la Fig. 37 pueden formar la zona de grietas más eficientemente que como lo hace el método mostrado en la Fig. 38.

También, dado que la luz láser de pulsos se irradia mientras la dirección de polarización lineal de la luz láser de pulsos es ortogonal a la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, la formación del punto de grietas 90 formado en el disparo se acelera en la dirección del ancho de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Por lo tanto, cuando el punto de grietas 90 se extiende demasiado en la dirección del ancho de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, el objeto a ser procesado no puede cortarse con precisión a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Por el contrario, el punto de grieta 90 formado en el disparo no se extiende mucho en direcciones distintas a la dirección de alineación con la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el método mostrado en la Fig. 37, por lo que el objeto a ser procesado se puede cortar con precisión.

Aunque la realización del tamaño en una dirección predeterminada relativamente grande entre los tamaños de una zona modificada se ha explicado en el caso de polarización lineal, lo mismo se mantiene en la polarización elíptica. Concretamente, como se muestra en la Fig. 39, la formación del punto de grietas 90 se acelera en la dirección del eje principal b de una elipse que representa la polarización elíptica EP de la luz láser, por lo que puede formarse el punto de grieta 90 que tiene un tamaño relativamente grande a lo largo de esta dirección. Por ello, cuando se forma la zona de grietas de modo que el eje mayor de una elipse indicativa de la polarización elíptica de un láser polarizado elípticamente con una elipsicidad distinta a 1 se alinea con una línea lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto a ser procesado, el efecto es similar a aquel caso en que tiene lugar la polarización lineal. En este caso, la elipsicidad es la mitad de la longitud del eje menor a/mitad de la longitud del eje mayor b. Cuando la elipsicidad es más pequeña, el tamaño del punto de grieta 90 a lo largo de la dirección del eje mayor b se hace más grande. La luz linealmente polarizada es luz polarizada elípticamente con una elipsicidad de cero. La luz circularmente polarizada se obtiene cuando la elipsicidad es 1, lo que no puede hacer el tamaño de la zona de grietas sea relativamente grande en una dirección predeterminada. Por lo tanto, este caso no engloba el caso en el que la elipsicidad es 1.

Aunque se ha explicado la realización del tamaño en una dirección predeterminada relativamente grande entre los tamaños de la zona modificada en el caso de una zona de grietas, lo mismo se mantiene en zonas procesadas por fusión y zonas de cambio del índice de refracción. También, aunque se ha explicado una luz láser de pulsos, lo mismo se mantiene en una luz láser de onda continua. Lo precedente también se mantiene en un cuarto ejemplo que se explicará posteriormente.

Se explicará ahora el aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo. La Fig. 40 es un diagrama esquemático de este aparato de procesamiento por láser. El aparato de procesamiento por láser 200 se explicará principalmente en términos de sus diferencias a partir del aparato de procesamiento por láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 14. El aparato de procesamiento por láser 200 comprende un regulador de elipsicidad 201 para el ajuste de la elipsicidad de la polarización de la luz láser L emitida por la fuente de luz láser 101, y un regulador de rotación a 90° 203 para el ajuste de la rotación de la polarización de la luz láser L emitida desde el regulador de elipsicidad 201 en aproximadamente 90° .

El regulador de elipsicidad 201 incluye una placa de cuarto de onda 207 mostrada en la Fig. 41. La placa de cuarto de onda 207 puede ajustar la elipsicidad de luz polarizada elípticamente cambiando el ángulo de la dirección θ . Concretamente, cuando se hace incidir luz con polarización lineal LP sobre la placa de cuarto de onda 207, la luz transmitida alcanza la polarización elíptica EP con una determinada elipsicidad. El ángulo de dirección es un ángulo formado entre el eje principal de la elipse y el eje X. Tal como se ha mencionado anteriormente, se emplea un número distinto a 1 como la elipsicidad en esta realización. El regulador de elipsicidad 201 pueda hacer que la polarización de la luz láser L se convierta en luz polarizada elípticamente EP que tenga la elipsicidad deseada. La elipsicidad se ajusta a la vista del grosor y del material del objeto 1 a ser procesado, y similares.

5 Cuando se irradia el objeto 1 a ser procesado con luz láser L que tenga polarización lineal LP, la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101 es luz linealmente polarizada LP, por lo que el regulador de elipsicidad 201 ajusta el ángulo de dirección θ de la placa de cuarto de onda 207 de modo que la luz láser L pase a través de la placa de cuarto de onda mientras sea la luz polarizada linealmente LP. También, la fuente de luz láser 101 emite luz láser L polarizada linealmente, por lo que el regulador de elipsicidad 201 es innecesario cuando solamente se utiliza luz láser de polarización lineal LP para la irradiación del objeto a ser procesado con láser.

10 El regulador de rotación a 90° 203 incluye una placa de semionda 205 tal como se muestra en la Fig. 42. La placa de semionda 205 es una placa de longitud de onda para la realización de una polarización ortogonal a la luz incidente polarizada linealmente. Concretamente, cuando incide una luz polarizada linealmente LP_1 con un ángulo de dirección a 45° sobre la placa de semionda 205, por ejemplo, la luz transmitida se convierte en luz polarizada linealmente LP_2 rotada 90° con respecto a la luz incidente LP_1 . Cuando se gira la polarización de la luz láser L emitida desde el regulador de elipsicidad 201 en 90° , el regulador de rotación a 90° 203 funciona de modo que coloque la placa de semionda 205 sobre el eje óptico de la luz láser L. Cuando no se gira la polarización de la luz láser L emitida desde el regulador de elipsicidad 201, el regulador de rotación a 90° 203 funciona de modo que coloque la placa de semionda 205 fuera del recorrido óptico de la luz láser L (es decir en un lugar en donde la luz láser L no pase a través de la placa de semionda 205).

20 El espejo dicróico 103 se dispone de modo que la luz láser L cuya rotación de polarización se regula en 90° o no por el regulador de rotación a 90° 203 sea incidente sobre él y que la dirección del eje óptico de la luz láser L se cambie en 90° . El aparato de procesamiento por láser 200 comprende una plataforma 213 de eje θ para la rotación del plano X-Y de la mesa de montaje 107 alrededor de la dirección del grosor del objeto 1 a ser procesado. El controlador de plataforma 115 regula no solo el movimiento de las plataformas 109, 111, 113, sino también el movimiento de la plataforma 213.

25 Con referencia a las Figs. 40 y 43, se explicará ahora el método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo de la presente realización.

30 La Fig. 43 es un diagrama de flujo para la explicación de este método de procesamiento por láser. El objeto 1 a ser procesado es una oblea de silicio. Las etapas S101 a S111 son las mismas que las del primer ejemplo mostrado en la Fig. 15.

35 El regulador de elipsicidad 201 ajusta la elipsicidad de la luz láser L que tiene polarización lineal LP emitida desde la fuente de luz láser 101 (S121). La luz láser L que tiene polarización elíptica EP con una elipsicidad deseable se puede obtener cuando el ángulo de la dirección θ de la placa de cuarto de onda se cambia en el regulador de elipsicidad 201.

40 Primero, para el procesamiento del objeto 1 a ser procesado a lo largo de la dirección del eje Y, se ajusta el eje principal de una elipse indicativo de la polarización elíptica EP de la luz láser L de modo que coincida con la dirección de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto que se extiende en la dirección del eje Y del objeto 1 a ser procesado (S123). Esto se consigue mediante la rotación de la plataforma 213 del eje θ . Por lo tanto, la plataforma 213 del eje θ funciona como un medio de ajuste del eje principal o medio de ajuste de la polarización lineal.

45 Para el procesamiento del objeto 1 a lo largo de la dirección del eje Y, el regulador de rotación a 90° 203 lleva a cabo el ajuste de modo que no gire la polarización de la luz láser L (S125). Concretamente, funciona de modo que coloque la placa de semionda fuera del recorrido óptico de la luz láser L.

50 La fuente de luz láser 101 genera luz láser L, mientras que la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto que se extiende en la dirección del eje Y en la superficie 3 del objeto 1 a ser procesado es irradiada con la luz láser L. La Fig. 44 es una vista en planta del objeto 1. El objeto 1 es irradiado con la luz láser L de modo que el eje principal indicativo de la elipse de polarización elíptica EP de la luz láser se extiende a lo largo de la línea 5 más recta a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto 1. Dado que el punto de convergencia de luz P de luz láser L se sitúa dentro del objeto 1, las zonas procesadas por fusión se forman solamente dentro del objeto 1. La plataforma 111 del eje Y se mueve a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, de modo que forme una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 a ser procesado a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto.

60 A continuación, se mueve la plataforma 109 del eje X, de modo que irradie la línea 5 contigua a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto con luz láser L, y se forma una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 a lo largo de la línea contigua 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en una forma similar a la mencionada anteriormente. Al repetir esto, se forma una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 a lo largo de las líneas 5 a ser cortadas sucesivamente desde el lado derecho (S127). La Fig. 45 muestra el caso en el que el objeto 1 es irradiado con la luz láser L que tiene polarización lineal. Concretamente, el objeto 1 es irradiado con luz láser de modo que la dirección de la polarización lineal LP de la luz láser se extienda a lo largo de la línea 5 a lo

largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto 1.

A continuación, funciona el regulador de rotación a 90° 203 de modo que coloque la placa de semionda 205 (Fig. 42) sobre el eje óptico de la luz láser L. Esto lleva a cabo un ajuste para la rotación de la polarización de la luz láser emitida desde el regulador de elipsicidad 219 en 90° (S219).

Posteriormente, la luz láser 101 genera luz láser L, mientras que la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto que se extiende en la dirección del eje X de la superficie 3 del objeto 1 se irradia con la luz láser L. La Fig. 46 es una vista en planta del objeto 1. El objeto 1 se irradia con la luz láser L de modo que la dirección del eje principal de una elipse indicativa de la polarización elíptica EP de la luz láser L se extiende a lo largo de la línea más baja 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto que se extiende en la dirección del eje X del objeto 1. Dado que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa dentro del objeto 1, se forman zonas procesadas por fusión solamente dentro del objeto 1. La plataforma 109 del eje X se mueve a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, de modo que forme una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 que se extiende a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto.

A continuación, se mueve la plataforma del eje Y, de modo que la líneas inmediatamente superior 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto se irradia con la luz láser L, mediante lo que se forma una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 a lo largo de la línea 5 lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en una forma similar a la mencionada anteriormente. Al repetir esto, se forman zonas procesadas por fusión respectivas dentro del objeto 1 a lo largo de líneas individuales a ser cortadas sucesivamente desde el lado inferior (S131). La Fig. 47 muestra el caso en el que el objeto 1 es irradiado con la luz láser L que tiene polarización lineal LP.

A continuación, el objeto 1 se curva lo largo de las líneas 5 a ser cortadas, mediante lo que se corta el objeto 1 (S133). Esto divide al objeto 1 en chips de silicio.

Se explicarán los efectos del tercer ejemplo. De acuerdo con el tercer ejemplo, el objeto 1 es irradiado con luz láser de pulsos L de modo que la dirección del eje principal de una elipse indicativo de la polarización elíptica EP de la luz láser de pulsos L se extiende a lo largo de las líneas 5 a ser cortadas tal como se muestra en las Figs. 44 y 46. En consecuencia, el tamaño de los puntos de grieta en la dirección de las líneas 5 a ser cortadas se convierten en relativamente grandes, por lo que las zonas de grietas que se extienden a lo largo de las líneas a ser cortadas pueden formarse mediante un número más pequeño de disparos. El tercer ejemplo puede formar de modo eficiente zonas de grietas como tal, siendo capaz así de mejorar la velocidad de procesamiento del objeto 1. También, el punto de grieta formado en el disparo no se extiende en direcciones distintas a la dirección de alineación con la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, mediante lo que el objeto 1 se puede cortar con precisión a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Estos resultados son similares a los del cuarto ejemplo que se explicará a continuación.

[Cuarto ejemplo]

Se explicará principalmente el cuarto ejemplo en términos de sus diferencias respecto al tercer ejemplo. La Fig. 48 es un diagrama esquemático de este aparato de procesamiento por láser 300. Entre los constituyentes del aparato de procesamiento por láser 300, se hará referencia a aquellos idénticos a los constituyentes del aparato de procesamiento por láser 200 de acuerdo con el tercer ejemplo mostrado en la Fig. 40 con números idénticos en ellos sin repetir sus explicaciones reiterativamente.

El aparato de procesamiento por láser 300 no está equipado con el regulador de rotación a 90° 203 del tercer ejemplo. Una plataforma 213 del eje θ puede girar el plano X-Y de la mesa de montaje 107 alrededor de la dirección de grosor del objeto 1 a ser procesado. Esto hace girar la polarización de la luz láser L emitida desde el regulador de elipsicidad 201 relativamente en 90°.

Se explicará el método de procesamiento por láser de acuerdo con el cuarto ejemplo. Las operaciones de las etapas S101 a la etapa S123 en el método de procesamiento por láser de acuerdo con el tercer ejemplo mostrado en la Fig. 43 se llevan a cabo asimismo en el cuarto ejemplo. La operación de la etapa S125 posterior no se lleva a cabo, dado que el cuarto ejemplo no está equipado con el regulador de rotación a 90° 203.

Después de la etapa S123, se lleva a cabo la operación de la etapa S127. Las operaciones llevadas a cabo hasta el momento procesan el objeto 1 tal como se muestra en la fig. 44 en una forma similar a la del tercer ejemplo. Posteriormente, el controlador de plataforma 115 regula la plataforma 213 del eje θ de modo que la gire en 90°. La rotación de la plataforma 213 del eje θ gira al objeto 1 en 90° en el plano X-Y. En consecuencia, como se muestra en la Fig. 49, el eje principal de la polarización elíptica EP se puede hacer que se alinee con la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto que intersecta la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto que ya ha completado la etapa de formación de la zona modificada.

A continuación, como en la etapa S127, se irradia el objeto 1 con la luz láser, mediante lo que se forman zonas procesadas por fusión dentro del objeto 1 a ser procesado a lo largo de las líneas 5 a ser cortadas sucesivamente

desde el lado derecho. Finalmente, como en la etapa S133, se corta al objeto 1, mediante lo que el objeto 1 se divide en chips de silicio.

El tercer y cuarto ejemplos explicados anteriormente se refieren a la formación de zonas modificadas mediante absorción de multifotones. Sin embargo, se puede cortar el objeto a ser procesado mediante su irradiación con un láser mientras se localiza el punto de convergencia de luz dentro del objeto de modo que hagan que la dirección del eje principal de una elipse indicativa de una polarización elíptica se extienda a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto sin formación de zonas modificadas producidas por la absorción de multifotones. Esto puede también cortar eficientemente el objeto a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto.

[Quinto ejemplo]

En un quinto ejemplo y sexto y séptimo ejemplos del mismo, que se explicarán posteriormente, los tamaños de los puntos modificados se controlan mediante la regulación de la magnitud de la potencia de la luz láser de pulsos y el tamaño de la apertura numérica de un sistema óptico que incluye una lente de convergencia de luz. El punto modificado se refiere a una parte modificada formada mediante un único disparo de impulso de luz láser de pulsos (es decir, una irradiación de un pulso láser), mientras que un conjunto de puntos modificados forma una zona modificada. La necesidad de controlar los tamaños de los puntos modificados se explicará con respecto a los puntos de grieta a modo de ejemplo.

Cuando un punto de grieta es demasiado grande, la precisión de corte de un objeto a ser cortado a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto disminuye, y se deteriora la lisura de la sección transversal. Esto se explicará con referencia a las Figs. 50 a 55. La Fig. 50 es una vista en planta de un objeto 1 a ser procesado en el caso en el que los puntos de grieta se forman relativamente grandes mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con la presente realización. La Fig. 51 es una vista en sección tomada a lo largo de LI-LI sobre la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en la Fig. 50. Las Figs. 52, 53 y 54 son vistas en sección tomadas a lo largo de las líneas LII-LII, LIII-LIII y LIV-LIV ortogonales a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en la Fig. 50, respectivamente. Como se puede ver a partir de estos dibujos, la desviación en los tamaños de los puntos de grieta 9 se hace mayor cuando los puntos de grieta 90 son demasiado grandes. Por lo tanto, tal como se muestra en la Fig. 55, la precisión de corte del objeto 1 a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto se hace más baja. También, las irregularidades de las secciones transversales 43 en el objeto 1 se hacen tan grandes que la lisura de la sección transversal 43 se deteriora. Cuando los puntos de grieta 90 se forman relativamente pequeños (por ejemplo, 20 μm o menos) mediante el uso del aparato de procesamiento por láser por el contrario, los puntos de grieta 90 se pueden formar uniformemente y se pueden limitar en su anchura en direcciones que se desvíen de la de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, tal como se muestra en la Fig. 56. Por lo tanto, tal como se muestra en la Fig. 57, la precisión de corte del objeto 1 a lo largo de la línea 5 lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y la lisura de las secciones transversales 43 se pueden mejorar tal como se muestra en la Fig. 57.

Cuando los puntos de grieta son demasiado grandes como tales, no se puede llevar a cabo un corte preciso a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto ni el corte para la producción de una sección transversal plana. Si los puntos de grieta son extremadamente pequeños con respecto a un objeto a ser procesado que tenga un grosor grande, sin embargo, el objeto será difícil de cortar.

Se explicará el hecho de que puedan controlarse los tamaños de los puntos de grietas. Tal como se muestra en la Fig. 7, cuando la densidad de la potencia de pico es la misma, el tamaño del punto de grieta en el caso en que la lente de convergencia de luz tenga una magnificación de $\times 10$ y un NA de 0,8 es más pequeño que el de un punto de grieta en el caso en donde la lente de convergencia de luz tenga una magnificación de $\times 50$ y un NA de 0,55. La densidad de potencia de pico es proporcionar a la energía de la luz láser por pulso, es decir, la potencia de la luz láser de pulsos, tal como se ha explicado anteriormente, mediante lo que la misma densidad de la potencia de pico significa la misma potencia de luz láser. Cuando la potencia de la luz láser es la misma mientras el área de la sección transversal del punto de luz es la misma, los tamaños de los puntos de grieta pueden regularse de modo que se hagan más pequeños (o más grandes) cuando la apertura numérica de una lente de convergencia de luz es más grande (más pequeña).

También, incluso cuando la apertura numérica de la lente de convergencia de luz es la misma, los tamaños de los puntos de grieta se pueden regular de modo que se hagan más pequeños y más grandes cuando la potencia de la luz láser (densidad de potencia de pico) se hace más baja y más alta, respectivamente.

Por lo tanto, tal como puede verse a partir del gráfico mostrado en la Fig. 7, los tamaños de los puntos de grieta pueden regularse de modo que se hagan más pequeños cuando la apertura numérica de una lente de convergencia de luz se hace más grande o la potencia de la luz láser se hace más baja. Por el contrario, los tamaños de los puntos de grieta pueden regularse de modo que serán más grandes cuando la apertura numérica de una lente de convergencia de luz se hace más pequeña o cuando la potencia de la luz láser se hace más alta.

Se explica adicionalmente el control de tamaño del punto de grieta con referencia a los dibujos. El ejemplo mostrado en la Fig. 58 es una vista en sección de un objeto 1 a ser procesado dentro del que converge una luz láser de pulsos L mediante el uso de una lente de convergencia de luz que tenga una apertura numérica predeterminada. Las zonas 41 son aquellas que han producido una intensidad de campo eléctrico en un umbral para producir la absorción de multifotones o más alto mediante esta irradiación láser. La Fig. 59 es una vista en sección de un punto de grieta 90 formado debido a la absorción de multifotones producida por la irradiación con la luz láser L. Por otro lado, el ejemplo mostrado en la Fig. 60 es una vista en sección de un objeto 1 a ser procesado dentro del que converge una luz láser de pulsos L mediante el uso de una lente de convergencia de luz que tenga una apertura numérica mayor que la del ejemplo mostrado en la Fig. 58. La Fig. 61 es una vista en sección de un punto de grieta 90 formado debido a la absorción de multifotones producida por la irradiación con la luz láser L. La altura h del punto de grieta 90 depende del tamaño de las zonas 41 en la dirección del grosor del objeto 1, mientras que el ancho w del punto de grieta 90 depende del tamaño de las zonas 41 en una dirección ortogonal a la dirección del grosor del objeto 1. Concretamente, cuando estos tamaños de las zonas 41 se hacen más pequeños y mayores, entonces la altura h y el ancho w del punto de grieta 90 se pueden hacer más pequeños y mayores, respectivamente. Como se puede ver en las Figs. 59 y 61 cuando se comparan entre sí, en el caso en que la potencia de la luz láser sea la misma, los tamaños de la altura h y del ancho w del punto de grieta 90 se pueden regular de modo que se hagan más pequeños (mayores) cuando la apertura numérica de una lente de convergencia de luz se hace mayor (más pequeña).

El ejemplo mostrado en la Fig. 62 es una vista en sección de un objeto 1 a ser procesado dentro del que converge una luz láser de pulsos L que tiene una potencia más baja que la del ejemplo mostrado en la Fig. 58. En el ejemplo mostrado en la Fig. 62, dado que la potencia de la luz láser se hace más baja, el área de las zonas 41 es más pequeña que la de las zonas 41 mostradas en la Fig. 58. La Fig. 63 es una vista en sección de un punto de grieta 90 formado debido a la absorción de multifotones producida por la irradiación con la luz láser L. Como se puede ver cuando se comparan las Figs. 59 y 63 entre sí, en el caso en que la apertura numérica de la lente de convergencia de luz sea la misma, los tamaños de la altura h y del ancho w del punto de grieta 90 pueden regularse de modo que se hagan más pequeños (mayores) cuando la potencia de la luz láser se hace más baja (más alta).

El ejemplo mostrado en la Fig. 64 es una vista en sección de un objeto 1 a ser procesado dentro del que converge una luz láser de pulsos L que tiene una potencia más baja que la del ejemplo mostrado en la Fig. 60. La Fig. 65 es una vista en sección de un punto de grieta 90 formado debido a la absorción de multifotones producida por la irradiación con la luz láser L. Como se puede ver cuando se comparan entre sí las Figs. 59 y 65, los tamaños de la altura h y del ancho w del punto de grieta 90 pueden regularse de modo que se hagan más pequeños (mayores) cuando la apertura numérica de la lente de convergencia de luz se hace más grande (más pequeña) mientras la potencia de luz láser se hace más baja (más alta).

Entre tanto, las zonas 41 indicativas de aquellas que producen una intensidad de campo eléctrico en un umbral para una intensidad de campo eléctrico capaz de formación de un punto de grieta o mayor están limitadas al punto de convergencia P y su proximidad debido a la razón siguiente: dado que se utiliza una fuente de luz láser con una calidad de haz elevado, esta realización consigue una elevada convergencia de la luz láser y puede converger la luz hasta aproximadamente la longitud de onda de la luz láser. En consecuencia, el perfil de esta luz láser alcanza una distribución gaussiana, mediante la que la intensidad del campo eléctrico se distribuye de modo que se haga la más alta en el centro del haz y gradualmente descienda cuando se incrementa la distancia al centro. La luz láser converge básicamente asimismo en el estado de una distribución gaussiana en el proceso de converger mediante una lente de convergencia de luz en la práctica. Por lo tanto, las zonas 41 están restringidas al punto de convergencia de luz P y su proximidad.

Como en la anterior, se pueden controlar los tamaños de los puntos de grieta. Los tamaños de los puntos de grieta se determinan a la vista de un requisito para un grado de corte preciso, un requisito para un grado de lisura en las secciones transversales, y la magnitud del grosor del objeto a ser procesado. Los tamaños de los puntos de grieta se pueden determinar asimismo a la vista de un material de un objeto a ser procesado. Esta realización puede controlar los tamaños de los puntos modificados, haciendo posible así llevar a cabo un corte preciso a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y producir una lisura favorable en las secciones transversales mediante la realización de puntos modificados más pequeños para objetos a ser procesados que tengan un grosor relativamente pequeño. También, mediante la realización de puntos modificados mayores, permite el corte de objetos a ser procesados que tengan un grosor relativamente grande.

Hay casos en donde un objeto a ser procesado tiene direcciones respectivas más fáciles y difíciles de cortar debido a la orientación del cristal del objeto, por ejemplo. Cuando se corta un objeto de ese tipo, el tamaño de los puntos de grieta 90 formados en la dirección fácil de cortar se hace mayor tal como se muestra en las Figs. 56 y 57, por ejemplo. Cuando la dirección de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto ortogonal a la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto sea una dirección difícil de cortar, por otro lado, el tamaño de los puntos de grieta 90 formados en esta dirección se hace mayor tal como se muestra en las Figs. 57 y 66. En este caso, la Fig. 66 es una vista en sección del objeto 1 mostrado en la Fig. 57 tomada a lo largo de LXVI-LXVI. Por ello, se puede tener una sección transversal plana en la dirección fácil de cortar, mientras que es posible el corte asimismo en la dirección de corte difícil.

Aunque el hecho de que es controlable el tamaño de los puntos modificados se ha explicado en el caso de puntos de grieta, lo mismo se mantiene en los puntos de fusión y puntos de cambio del índice de refracción. Por ejemplo, la potencia de la luz láser de pulsos se puede expresar en energía por pulso (J), o potencia media (W) que es un valor obtenido mediante la multiplicación de la energía por pulso por la frecuencia de la luz láser. Lo precedente se mantiene en los ejemplos sexto y séptimo que se explicarán a continuación.

Se explicará el aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo. La Fig. 67 es un diagrama esquemático de este aparato de procesamiento por láser 400. El aparato de procesamiento por láser 400 se explicará principalmente en términos de sus diferencias respecto al aparato de procesamiento por láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 14.

El aparato de procesamiento por láser 400 comprende un regulador de potencia 401 para el ajuste de la potencia de la luz láser L emitida desde una fuente de luz láser 101. El regulador de potencia 401 comprende, por ejemplo, una pluralidad de filtros ND (densidad neutra), y un mecanismo para mover los filtros ND individuales a posiciones perpendiculares al eje óptico de la luz láser L y afuera del recorrido óptico de la luz láser L. Un filtro ND es un filtro que reduce la intensidad de la luz sin cambiar la distribución espectral relativa de la energía. Una pluralidad de filtros ND tiene factores de extinción respectivos diferentes entre sí. Mediante el uso de uno de una pluralidad de filtros ND o la combinación de algunos de ellos, el regulador de potencia 401 ajusta la potencia de la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101. En este caso, una pluralidad de filtros ND puede tener el mismo factor de extinción, y el regulador de potencia 401 puede cambiar el número de filtros ND a ser trasladados a posiciones perpendiculares al eje óptico de la luz láser L, de modo que ajusten la potencia de la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101.

El regulador de potencia 401 puede comprender un filtro de polarización dispuesto perpendicular al eje óptico de la luz láser L polarizada linealmente, y un mecanismo para la rotación del filtro de polarización alrededor del eje óptico de la luz láser L en un ángulo deseable. La rotación del filtro de polarización alrededor del eje óptico en un ángulo deseable en el regulador de potencia 401 ajusta la potencia de la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101.

En este caso, la corriente de accionamiento para un láser de semiconductor de bombeo en la fuente de luz láser 101 se puede regular mediante un controlador de la fuente de luz láser 102 que es un ejemplo de un medio de control de la corriente de accionamiento, de modo que regule la potencia de la luz láser L emitida desde la fuente de luz láser 101. Por lo tanto, la potencia de la luz láser L se puede ajustar mediante al menos uno de entre el regulador de potencia 401 y el controlador de la fuente de luz láser 102. Si el tamaño de una zona modificada puede alcanzar un valor deseable debido al ajuste de la potencia de la luz láser L mediante el controlador de la fuente de luz láser 102 en solitario, el regulador de potencia 401 es innecesario. El ajuste de potencia explicado anteriormente se efectúa cuando un operador del aparato de procesamiento por láser introduce la magnitud de la potencia en un controlador global 127, que se explicará más tarde, mediante el uso de un teclado o similar.

El aparato de procesamiento por láser 400 comprende adicionalmente un espejo dicróico 103 dispuesto de modo que la luz láser L cuya potencia se ajusta mediante el regulador de potencia 401 sea incidente en él mientras que la orientación del eje óptico de la luz láser L se cambia en 90°; un mecanismo de selección de lente 403 que incluye una pluralidad de lentes de convergencia de luz para la convergencia de la luz láser L reflejada por el espejo dicróico 103; y un controlador del mecanismo de selección de lente 405 para el control del mecanismo de selección de la lente 403.

El mecanismo de selección de lente 403 comprende lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c y una placa de soporte 407 para su soporte. Las aberturas numéricas de los sistemas ópticos respectivos que incluyen las lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c difieren entre sí. De acuerdo con una señal desde el controlador del mecanismo de selección de lente 405, el mecanismo de selección de lente 403 gira la placa de soporte 407, haciendo de ese modo que una lente de convergencia de luz deseable de entre las lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c se coloque sobre el eje óptico de la luz láser L. Concretamente, el mecanismo de selección de lente 403 es del tipo revólver.

El número de lentes de convergencia de luz fijadas al mecanismo de selección de lente 403 no está restringido a 3 sino que pueden ser otros números. Cuando el operador del aparato de procesamiento por láser introduce un tamaño de apertura numérica o una instrucción para elegir una de las lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c dentro del controlador global 127, lo que se explicará más adelante, mediante el uso de un teclado o similar, se elige la lente de convergencia de luz, concretamente, se elige la apertura numérica.

Montado sobre la mesa de montaje 107 del aparato de procesamiento por láser 400 hay un objeto 1 a ser procesado irradiado con la luz láser L que converge mediante una de las lentes de convergencia de luz 105a a 105c que se disponen sobre el eje óptico de la luz láser L.

El controlador global 127 está conectado eléctricamente al regulador de potencia 401. La Fig. 67 no lo representa. Cuando la magnitud de la potencia se proporciona al interior del controlador global 127, este último controla el

regulador de potencia 401, ajustando de ese modo la potencia.

La Fig. 68 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo del controlador global 127. El controlador global 127 comprende un selector de tamaño 411, una sección de almacenamiento de correlación 413, y una sección de preparación de imagen 415. El operador del aparato de procesamiento por láser introduce la magnitud de la potencia de la luz láser de pulsos o el tamaño de la apertura numérica del sistema óptico incluyendo la lente de convergencia de luz al selector de tamaño 411 mediante el uso de un teclado o similar. En este ejemplo, la entrada puede elegir una de las lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c en lugar del tamaño de apertura numérica que se introducen directamente. En este caso, las aperturas numéricas respectivas de las lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c están registradas en el controlador global 127 previamente, y los datos de apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente de convergencia de luz elegida se proporcionan automáticamente al selector de tamaño 411.

La sección de almacenamiento de correlación 413 ha almacenado previamente la correlación entre el conjunto de la magnitud de potencia del pulso láser y el tamaño de apertura numérica y el tamaño del punto modificado. La Fig. 69 es un ejemplo de la tabla que muestra esta correlación. En este ejemplo, las aperturas numéricas respectivas de los sistemas ópticos que incluyen las lentes de convergencia de luz 105a, 105b, 105c se registran en la columna para apertura numérica. En la columna para la potencia, se registran las magnitudes de la potencia alcanzada por el regulador de potencia 401. En la columna para el tamaño, se registran los tamaños de los puntos modificados formados mediante combinaciones de potencias de sus conjuntos correspondientes y las aperturas numéricas. Por ejemplo, el punto modificado formado cuando la potencia es $1,24 \times 10^{11}$ (W/cm²) mientras la apertura numérica es 0,55, tiene un tamaño de 120 μm. Los datos de esta correlación se pueden obtener llevando a cabo experimentos explicados en las Figs. 58 a 65 antes del procesamiento por láser, por ejemplo.

Cuando la magnitud de la potencia y el tamaño de apertura numérica se proporcionan al interior del selector de tamaño 411 este último elige un conjunto que tenga sus valores correspondientes de entre la sección de almacenamiento de correlación 413, y envía los datos del tamaño correspondiente a este conjunto al monitor 129. En consecuencia, el tamaño de un punto modificado formado con la magnitud así introducida de potencia y el valor de apertura numérica se muestran sobre el monitor 129. Si no hay un conjunto correspondiente a estos valores, los datos de tamaño correspondientes al conjunto que tenga los valores más próximos se envían al monitor 129.

Los datos de tamaño que corresponden al conjunto elegido por el selector de tamaño 411 se envían desde el selector de tamaño 411 a la sección de preparación de imagen 415. De acuerdo con estos datos de tamaño, la sección de preparación de imagen 415 prepara los datos de imagen de un punto modificado en este tamaño, y envía los datos así preparados al monitor 129. En consecuencia, se muestra también una imagen del punto modificado sobre el monitor 129. Por ello, se pueden ver el tamaño y la forma del punto modificado antes del procesamiento por láser.

El tamaño de la apertura numérica se puede hacer variable mientras se fija la magnitud de la potencia. La tabla en este caso será tal como se muestra en la Fig. 70. Por ejemplo, el punto modificado formado cuando la apertura numérica es de 0,55 mientras la potencia se fija en $1,49 \times 10^{11}$ (W/cm²) tiene un tamaño de 150 μm. Alternativamente, la magnitud de la potencia se puede hacer variable mientras se fija el tamaño de la apertura numérica. La tabla en este caso será tal como se muestra en la Fig. 71. Por ejemplo, el punto modificado formado cuando la potencia se fija en $1,19 \times 10^{11}$ (W/cm²) mientras se fija la apertura numérica en 0,8 tiene un tamaño de 30 μm.

Se explicará ahora con referencia a la Fig. 67 el método de procesamiento por láser de acuerdo con el quinto ejemplo. El objeto 1 a ser procesado es una oblea de silicio. En el quinto ejemplo, se llevan a cabo las operaciones de las etapas S101 a S111 como en el método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 15.

Después de la etapa S111, la magnitud de la potencia y el tamaño de la apertura numérica se proporcionan al interior del controlador global 127 tal como se ha explicado anteriormente. De acuerdo con los datos de la potencia introducida, se ajusta la potencia de la luz láser L mediante el regulador de potencia 401. De acuerdo con los datos de la apertura numérica introducida, el mecanismo de selección de lente 403 elige una lente de convergencia de luz por medio del controlador del mecanismo de selección de lente 405, ajustando de ese modo la apertura numérica. Estos datos se proporcionan también al interior del selector de tamaño 411 del controlador global 127 (Fig. 68). En consecuencia, el tamaño y la forma de un punto de fusión formado dentro del objeto 1 tras la irradiación de un pulso de luz láser L se visualiza sobre el monitor 129.

A continuación, se llevan a cabo las operaciones de las etapas S113 a S115 tal como en el método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 15. Esto divide al objeto 1 en chips de silicio.

[Sexto ejemplo]

Se explicará ahora un sexto ejemplo principalmente en términos de sus diferencias respecto al quinto ejemplo. La Fig. 72 es un diagrama esquemático de este aparato de procesamiento por láser 500. Entre los constituyentes del aparato de procesamiento por láser 500, se hace referencia a aquellos idénticos a los constituyentes del aparato de procesamiento por láser 400 de acuerdo con el quinto ejemplo mostrado en la Fig. 67 con sus números idénticos al mismo sin repetir sus explicaciones reiterativas.

En el aparato de procesamiento por láser 500, se dispone un expansor del haz 501 sobre el eje óptico de la luz láser L entre un regulador de potencia 401 y un espejo dicróico 103. El expansor del haz 501 tiene una magnificación variable, y se regula mediante el expansor del haz 501 de modo que se incremente el diámetro del haz de la luz láser L. El expansor del haz 501 es un ejemplo de medio de regulación de la apertura numérica. El aparato de procesamiento por láser 500 está equipado con una única lente de convergencia de luz 105 en lugar del mecanismo de selección de lentes 403.

Las operaciones del aparato de procesamiento por láser 500 difieren de las del aparato de procesamiento por láser del quinto ejemplo en el ajuste de la apertura numérica en base a la magnitud de la apertura numérica proporcionada al interior del controlador global 127. Esto se explicará en lo que sigue. El controlador global 127 se conecta eléctricamente al expansor del haz 501. La Fig. 72 no representa esto. Cuando el tamaño de la apertura numérica se proporciona al interior del controlador global 127, este último lleva a cabo el control para el cambio de la magnitud del expansor del haz 501. Esto regula la magnificación del diámetro del haz de la luz láser L incidente sobre la lente de convergencia de luz 105. Por lo tanto, solamente con una lente de convergencia de luz 105, es posible el ajuste para el incremento de la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente de convergencia de luz 105. Esto se explicará con referencia a las Figs. 73 y 74.

La Fig. 73 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L efectuada por la lente de convergencia de luz 105 cuando no se proporciona el expansor del haz 501. Por otro lado, la Fig. 74 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L efectuada por la lente de convergencia de luz 105 cuando se proporciona el expansor del haz 501. Tal como se puede ver cuando se comparan entre sí las Figs. 73 y 74, el sexto ejemplo puede conseguir el ajuste de modo que incrementa la apertura numérica con referencia a la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente de convergencia de luz 105 en el caso de que el expansor del haz 501 no se proporcione.

[Séptimo ejemplo]

Se explicará ahora un séptimo ejemplo principalmente en términos de sus diferencias respecto al quinto y sexto ejemplos. La Fig. 75 es un diagrama esquemático de este aparato de procesamiento por láser 600. Entre los constituyentes del aparato de procesamiento por láser 600, aquellos idénticos a los constituyentes del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con los ejemplos quinto y sexto serán denominados con números idénticos a ellos sin repetir sus explicaciones reiterativas.

En el aparato de procesamiento por láser 600, se dispone un iris de diafragma 601 sobre el eje óptico de la luz láser L en lugar del expansor del haz 501 entre un espejo dicróico 103 y una lente de convergencia de luz 105. El cambio del tamaño de apertura de este diafragma de iris 601 ajusta el diámetro efectivo de la lente de convergencia de luz 105. El diafragma de iris 601 es un ejemplo de medio de regulación de la apertura numérica. El aparato de procesamiento por láser 600 comprende adicionalmente un controlador del diafragma de iris 603 para el cambio del tamaño de la apertura del diafragma de iris 601. El controlador del diafragma de iris 603 se controla mediante un controlador global 127.

Las operaciones del aparato de procesamiento por láser 600 difieren de aquellas del aparato de procesamiento por láser de los ejemplos quinto y sexto en el ajuste de la apertura numérica en base al tamaño de la apertura numérica proporcionada al controlador global 127. De acuerdo con el tamaño de apertura numérica introducido, el aparato de procesamiento por láser 600 cambia el tamaño de la apertura del diafragma de iris 601, llevando a cabo de ese modo el ajuste para disminuir el diámetro efectivo de la lente de convergencia de luz 105. Por lo tanto, solamente con una lente de convergencia de luz 105, es posible el ajuste para la disminución de la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente de convergencia de luz 105. Esto se explicará con referencia a las Figs. 76 y 77.

La Fig. 76 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L efectuada mediante la lente de convergencia de luz 105 cuando no se proporciona ningún diafragma de iris. Por otro lado, la Fig. 77 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L efectuada por la lente de convergencia de luz 105 cuando se proporciona el diafragma de iris 601. Como se puede ver cuando se comparan entre sí las Figs. 76 y 77, el séptimo ejemplo puede conseguir el ajuste de modo que se incremente la apertura numérica con referencia a la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente de convergencia de luz 105 en el caso en el que no se proporciona el diafragma de iris.

Se explicarán ahora ejemplos modificados del quinto a séptimo ejemplos. La Fig. 78 es un diagrama de bloques del controlador global 127 proporcionado en un ejemplo modificado del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización. El controlador global 127 comprende un selector de potencia 417 y una sección de

almacenamiento de correlación 413. La sección de almacenamiento de correlación 413 tiene ya almacenados los datos de correlación mostrados en la Fig. 71. Un operador del aparato de procesamiento por láser introduce un tamaño deseable de un punto modificado en el selector de potencia 417 mediante un teclado o similar. El tamaño del punto modificado es determinado a la vista del grosor y material del objeto a ser modificado y similares. De acuerdo con esta entrada, el selector de potencia 417 elige una potencia correspondiente al valor de tamaño idéntico al tamaño así introducido a partir de la sección de almacenamiento de correlación 413, y la envía al regulador de potencia 401. Por lo tanto, cuando se usa el aparato de procesamiento por láser regulado a esta magnitud de potencia para procesamiento por láser, se puede formar un punto modificado que tenga un tamaño deseable. Los datos que se refieren a la magnitud de potencia también se envían al monitor 129, por lo que se muestra la magnitud de potencia. En este ejemplo, la apertura numérica se fija mientras es variable la potencia. Si no hay un tamaño de un valor idéntico al valor así introducido almacenado en la sección de almacenamiento de correlación 413, se envían los datos de potencia correspondientes al tamaño que tenga al valor más próximo al regulador de potencia 401 y al monitor 129. Esto es lo mismo en los ejemplos modificados explicados a continuación.

La Fig. 79 es un diagrama de bloques del controlador global 127 proporcionado en otro ejemplo modificado del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización. El controlador global 127 comprende un selector de apertura numérica 419 y una sección de almacenamiento de correlación 413. Difiere del ejemplo modificado de la Fig. 78 en que se elige la apertura numérica en lugar de la potencia. La sección de almacenamiento de la correlación 413 ya ha almacenado los datos mostrados en la Fig. 70. Un operador del aparato de procesamiento por láser introduce un tamaño deseable de un punto modificado al selector de apertura numérica 419 mediante el uso de un teclado o similar. En consecuencia, el selector de apertura numérica 419 elige una apertura numérica que corresponde a un tamaño que tenga un valor idéntico al del tamaño introducido a partir de la sección de almacenamiento de correlación 413, y envía los datos de esta apertura numérica al controlador del mecanismo de selección de lentes 405, al expansor del haz 501 o al controlador del diafragma de iris 603. Por lo tanto, cuando el aparato de procesamiento por láser regulado a este tamaño de apertura numérica se usa para procesamiento por láser, se puede formar un punto modificado que tenga un tamaño deseable. Los datos que se refieren a esta apertura numérica también se envían al monitor 129, por lo que se visualiza el tamaño de la apertura numérica. En este ejemplo, se fija la potencia mientras es variable la apertura numérica.

La Fig. 80 es un diagrama de bloques del controlador global 127 proporcionado en otro ejemplo modificado más del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización. El controlador global 127 comprende un selector del conjunto 421 y una sección de almacenamiento de correlación 413. Difiere de los ejemplos de las Figs. 78 y 79 en que se eligen tanto la potencia como la apertura numérica. La sección de almacenamiento de correlación 413 ha almacenado previamente la correlación entre el conjunto de potencia y apertura numérica y el tamaño en la Fig. 69. Un operador del aparato de procesamiento por láser introduce un tamaño deseable de un punto modificado al selector del conjunto 421 mediante el uso de un teclado o similar. En consecuencia, el selector del conjunto 421 elige un conjunto de potencia y apertura numérica correspondiente al tamaño así introducido a partir de la sección de almacenamiento de correlación 413. Los datos de potencia en el conjunto así elegido se envían al regulador de potencia 401. Por otro lado, los datos de la apertura numérica en el conjunto elegido se envían al controlador del mecanismo de selección de lentes 405, expansor del haz 501 o controlador de diafragma de iris 603. Por lo tanto, cuando se usa el aparato de procesamiento por láser regulado a la potencia y apertura numérica de este conjunto para procesamiento por láser, se puede formar un punto modificado que tenga un tamaño deseable. Los datos que se refieren a la magnitud de la potencia y del tamaño de la apertura numérica se envían también al monitor 129, por lo que se visualizan la magnitud de la potencia y del tamaño de la apertura numérica.

Estos ejemplos modificados pueden controlar tamaños de puntos modificados. Por lo tanto, cuando el tamaño de un punto modificado se hace más pequeño, el objeto a ser procesado se puede cortar con precisión a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en ella, y se puede tener una sección transversal plana. Cuando el objeto a ser cortado tiene grosores grandes, el tamaño del punto modificado se puede ampliar, por lo que el objeto puede cortarse.

[Octavo ejemplo]

Un octavo ejemplo controla la distancia entre un punto modificado formado mediante un pulso de luz láser y un punto modificado formado por el siguiente pulso de la luz láser de pulsos mediante la regulación de la magnitud de una frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos y la magnitud de la velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos. Concretamente, controla la distancia entre puntos modificados adyacentes. En la siguiente explicación, la distancia se supone que es un paso p . El control del paso p se explicará en términos de una zona de grietas a modo de ejemplo.

Sea f (Hz) la frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos y v (mm/s) la velocidad de movimiento de la plataforma del eje X o la plataforma del eje Y del objeto a ser procesado. Las velocidades de movimiento de estas plataformas son ejemplos de velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos. La parte de grieta formada mediante un disparo de la luz láser de pulsos se denomina como un punto de grieta. Por lo tanto, el número n de puntos de grieta formados por unidad de longitud de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto es como sigue:

$$n = f/v.$$

El recíproco del número n de los puntos de grieta formados por unidad de longitud corresponde al paso p :

$$p = 1/n.$$

5

Por ello, el paso p puede controlarse cuando se regula al menos uno de entre la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos y la magnitud de la velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz. Concretamente, el paso p puede controlarse de modo que se haga más pequeño cuando se incrementa la frecuencia de repetición f (Hz) o cuando se disminuye la velocidad de movimiento v (mm/s) de la plataforma. Por el contrario, el paso se puede controlar de modo que se haga mayor cuando se disminuye la frecuencia de repetición f (Hz) o cuando se incrementa la velocidad de movimiento v (mm/s) de la plataforma.

10

15

Mientras tanto, hay tres formas de relación entre el paso p y el tamaño del punto de grieta en la dirección de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto tal como se muestra en las Figs. 81 a 83. Las Figs. 81 a 83 son vistas en planta de un objeto a ser procesado a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, que se forma con una zona de grietas mediante el procesamiento por láser de acuerdo con esta realización. Se forma un punto de grieta 90 mediante un pulso de la luz láser de pulsos. La formación de una pluralidad de puntos de grietas 90 alineados entre sí a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto conduce a una zona de grietas 9.

20

La Fig. 81 muestra un caso en donde el paso p es más grande que el tamaño d . La zona de grietas 9 se forma de modo discontinuo a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto dentro del objeto a ser procesado. La Fig. 82 muestra un caso en el que el paso p sustancialmente iguala al tamaño d . La zona de grietas 9 se forma continuamente a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto dentro del objeto a ser procesado. La Fig. 83 muestra un caso en el que el paso p es más pequeño que el tamaño d . La zona de grietas 9 se forma continuamente a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto dentro del objeto a ser procesado.

25

30

En la Fig. 81, la zona de grietas 9 no es continua lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, por lo que la parte de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto mantiene una resistencia en algún grado. Por lo tanto, cuando se lleva a cabo una etapa de corte del objeto a ser procesado después del procesamiento por láser, se hace más fácil el manejo del objeto. En las Figs. 82 y 83, la zona de grietas 9 se forma continuamente a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, lo que hace más fácil cortar el objeto mientras se usa la zona de grietas 9 como un punto de inicio.

35

El paso p se hace mayor que el tamaño d en la Fig. 81, y sustancialmente iguala el tamaño d en la Fig. 82, por lo que se puede impedir que se superpongan las zonas de generación por absorción de multifotones tras la irradiación con luz láser de pulsos sobre los puntos de grieta 90 que ya se han formado. Como resultado, se pueden hacer más pequeñas las desviaciones en los tamaños de los puntos de grietas 90. Concretamente, el presente inventor ha descubierto que, cuando se superpone una zona de generación por absorción de multifotones a la irradiación con luz láser de pulsos sobre puntos de grieta 90 que ya se han formado, las desviaciones en los tamaños de los puntos de grieta 90 formados en esta zona se hacen mayores. Cuando las desviaciones en los tamaños de los puntos de grieta 90 se hacen mayores, se hace más difícil cortar con precisión el objeto a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto y la lisura de la sección transversal se deteriora. En las Figs. 81 y 82, las desviaciones en los tamaños de los puntos de grieta se pueden hacer más pequeñas, por lo que el objeto a ser procesado se puede cortar con precisión a lo largo de la línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, mientras las secciones transversales se pueden hacer planas.

40

45

50

Tal como se ha explicado anteriormente, el octavo ejemplo puede controlar el paso p mediante la regulación de la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos o la magnitud de la velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos. Esto permite el procesamiento por láser de conformidad con el objeto a ser procesado mediante el cambio del paso p a la vista del grosor y del material del objeto y similares.

55

Aunque se explica el hecho de que puede controlarse el paso p en el caso de puntos de grieta, lo mismo se mantiene en los puntos de fusión y puntos de cambio del índice de refracción. Sin embargo, no hay problemas incluso cuando los puntos de fusión y los puntos de cambio del índice de refracción se superponen sobre aquellas que ya se han formado. El movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos se puede realizar mediante un caso en donde el objeto a ser procesado se mueve mientras el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos es fijo, un caso en donde el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos se mueve

60

mientras el objeto está fijo, un caso en donde el objeto y el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos se mueven en direcciones opuestas entre sí, y un caso en donde el objeto y el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos se mueven en la misma dirección con sus velocidades relativas diferentes entre sí.

5 Con referencia a la Fig. 14, el aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo se explicará principalmente en términos de sus diferencias respecto al aparato de procesamiento por láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 14. La fuente de luz láser 101 es un láser de conmutación Q. La Fig. 84 es un diagrama esquemático del láser de conmutación Q proporcionado en una fuente de luz láser 101. El láser de conmutación Q comprende espejos 51, 53 que se disponen con una holgura predeterminada entre ellos, un medio láser 55 dispuesto entre los espejos 51 y 53, una fuente de bombeo 57 para la aplicación de una entrada de bombeo al medio láser 55 y un conmutador Q 59 dispuesto entre el medio láser 55 y el espejo 51. El material del medio láser 55 es Nd:YAG, por ejemplo.

15 Se aplica a una entrada de bombeo desde la fuente de bombeo 57 al medio láser 55 en un estado en donde la pérdida en un resonador se hace alta mediante la utilización del conmutador Q 59, por lo que la inversión de población del medio láser 55 se eleva a un valor predeterminado. Posteriormente, el conmutador Q 59 se utiliza para la colocación del resonador en un estado con una baja pérdida, de modo que oscile la energía acumulada instantáneamente y genere la luz láser de pulsos L. Una señal S (por ejemplo, un cambio en la frecuencia de repetición de un pulso ultrasónico) desde un controlador de la fuente de luz láser 102 controla el conmutador Q 59 de modo que le haga alcanzar un estado alto. Por lo tanto, la señal S desde el controlador de la fuente de luz láser 102 puede regular la frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos L emitida desde la fuente de luz láser 101. El controlador de la fuente de luz láser 102 es un ejemplo de medio de ajuste de la frecuencia. La frecuencia de repetición se regula cuando un operador del aparato de procesamiento por láser introduce la magnitud de repetición de la frecuencia en un controlador global 127, que se explicará posteriormente, mediante el uso de un teclado o similar. Lo precedente son detalles de la fuente de luz láser 101.

30 Durante el procesamiento por láser, el objeto 1 a ser procesado se mueve en la dirección del eje X o Y, de modo que forme una zona modificada a lo largo de una línea a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Por lo tanto, cuando se forma una zona modificada en la dirección del eje X, la velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser se puede ajustar mediante la regulación de la velocidad de movimiento de la plataforma 109 del eje X. Cuando se forma una zona modificada en la dirección del eje Y, por otro lado, la velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser se puede ajustar mediante la regulación de la velocidad de movimiento de la plataforma 111 del eje Y. El ajuste de las velocidades de movimiento respectivas de estas plataformas se controla mediante el controlador de plataforma 115. El controlador de plataforma 115 es un ejemplo de medio de ajuste de velocidad. La velocidad se regula cuando el operador del aparato de procesamiento por láser introduce la magnitud de velocidad al controlador global 127, que se explicará más adelante, mediante el uso de un teclado o similar. La velocidad del movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos se puede ajustar cuando, mientras el punto de convergencia de luz P se hace móvil, se regula su velocidad de movimiento.

40 El controlador global 127 del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo añade adicionalmente otras funciones al controlador global 127 del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo. La Fig. 85 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo del controlador global 127 del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de distancia 141, una sección de almacenamiento de tamaño 143 y una sección de preparación de imagen 145. En la sección de cálculo de distancia 141, se introduce la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos y magnitudes respectivas de las velocidades de movimiento de las plataformas 109, 111. Estas entradas se efectúan por el operador del aparato de procesamiento por láser usando un teclado o similar.

50 La sección de cálculo de distancia 141 calcula la distancia (paso) entre puntos adyacentes mediante la utilización de las expresiones mencionadas anteriormente ($n = f/v$, y $p = 1/n$). La sección de cálculo de distancia 141 envía estos datos de distancia al monitor 129. En consecuencia, se visualiza sobre el monitor 129 la distancia entre puntos modificados formados con las magnitudes introducidas de frecuencia y velocidad.

55 Los datos de distancia también se envían a la sección de preparación de imagen 145. La sección de almacenamiento de tamaño 143 ya tiene almacenados en ella tamaños de puntos modificados formados en este aparato de procesamiento por láser. De acuerdo con los datos de distancia y los datos de tamaño almacenados en la sección de almacenamiento de tamaño 143, la sección de preparación de imagen 145 prepara datos de imagen de una zona modificada formada mediante la distancia y el tamaño y envía los datos de imagen así preparados al monitor 129. En consecuencia, se visualiza también una imagen de la zona modificada sobre el monitor 129. Por ello, se puede ver antes del procesamiento por láser la distancia entre puntos modificados adyacentes y la forma de la zona modificada.

65 Aunque la sección de cálculo de distancia 141 calcula la distancia entre puntos modificados mediante la utilización de las expresiones ($n = f/v$, y $p = 1/n$), también puede tomarse el siguiente procedimiento. Primero, se prepara una

tabla que tenga registradas previamente las relaciones entre la magnitud de la frecuencia de repetición, las velocidades de movimiento de las plataformas 109, 111 y la distancia entre puntos modificados, y se hace que la sección de cálculo de distancia 141 almacene los datos de esta tabla. Cuando la magnitud de la frecuencia de repetición y las magnitudes de las velocidades de movimiento de las plataformas 109, 111 son proporcionadas a la

5 sección de cálculo de distancia 141, esta última lee desde la tabla anteriormente mencionada la distancia entre puntos modificados para los puntos modificados formados bajo la condición de estas magnitudes.

En este caso, las magnitudes de las velocidades de movimiento de las plataformas se pueden hacer variables mientras se fija la magnitud de la frecuencia de repetición. Por el contrario, la magnitud de la frecuencia de repetición se puede hacer variable mientras se fijan las magnitudes de las velocidades de movimiento de las plataformas. También, en estos casos, las expresiones y tablas anteriormente mencionadas se usan en la sección de cálculo de distancias 141 para llevar a cabo el procesamiento para hacer que el monitor 129 visualice la distancia entre puntos modificados y una imagen de la zona modificada.

15 Como en lo precedente, el controlador global 127 mostrado en la Fig. 85 introduce la magnitud de la frecuencia de repetición y de las velocidades de movimiento de la plataforma, calculando de ese modo la distancia entre puntos modificados adyacentes. Alternativamente, se puede introducir una distancia deseable entre puntos modificados adyacentes, y la magnitud de la frecuencia de repetición y las magnitudes de las velocidades de movimiento de las plataformas pueden controlarse. Este procedimiento se explicará a continuación.

20 La Fig. 86 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo del controlador global 127 proporcionado en el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de frecuencia 147. El operador del aparato de procesamiento por láser introduce la magnitud de la distancia entre puntos modificados adyacentes en la sección de cálculo de frecuencia 147 mediante el uso de un teclado o similar. La magnitud de la

25 distancia se determina a la vista del grosor y del material del objeto a ser procesado y similares. Después de esta entrada, la sección de cálculo de frecuencia 147 calcula una frecuencia para alcanzar esta magnitud de distancia de acuerdo con las expresiones y tablas anteriormente mencionadas. En este ejemplo, se fijan las velocidades de movimiento de la plataforma. La sección de cálculo de frecuencia 147 envía los datos así calculados al controlador de la fuente de luz láser 102. Cuando el objeto a ser procesado se somete al procesamiento por láser mediante el

30 aparato de procesamiento por láser regulado a esta magnitud de frecuencia, la distancia entre puntos modificados adyacentes puede alcanzar una magnitud deseable. Los datos de esta magnitud de frecuencia también se envían al monitor 129, por lo que se visualiza esta magnitud de frecuencia.

35 La Fig. 87 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más del controlador global 127 proporcionado en el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de velocidad 149. En una forma similar a la mencionada anteriormente, la magnitud de la distancia entre puntos modificados adyacentes se proporciona a la sección de cálculo de velocidad 149. Tras esta entrada, la sección de cálculo de velocidad 149 calcula una velocidad de movimiento de la plataforma para alcanzar esta magnitud de distancia de acuerdo con las expresiones y tablas mencionadas anteriormente. En este ejemplo, se fija la frecuencia de

40 repetición. La sección de cálculo de velocidad 149 envía los datos así calculados al controlador de plataforma 115. Cuando el objeto a ser procesado se somete al procesamiento por láser mediante el aparato de procesamiento por láser regulado a esta magnitud de velocidad de movimiento de la plataforma, la distancia entre puntos modificados adyacentes puede alcanzar una magnitud deseable. Los datos de esta magnitud de velocidad de movimiento de la plataforma se envían también al monitor 129, por lo que se visualiza esta magnitud de velocidad de movimiento de la

45 plataforma.

La Fig. 88 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más del controlador global 127 proporcionado en el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de combinación 151. Difiere de los casos de las Figs. 86 y 87 en que se calculan tanto la frecuencia de repetición como la velocidad de movimiento de la plataforma. En una forma similar a la mencionada anteriormente, la distancia entre puntos modificados adyacentes se proporciona a la sección de cálculo de combinación 151. De acuerdo con las expresiones y tablas mencionadas anteriormente, la sección de cálculo de combinación 151 calcula una frecuencia de repetición y una velocidad de movimiento de la plataforma para alcanzar esta magnitud de distancia.

50 La sección de cálculo de combinación 151 envía los datos así calculados al controlador de plataforma 115. El controlador de la fuente de luz láser 102 ajusta la fuente de luz láser 101 de modo que alcance la magnitud calculada de frecuencia de repetición. El controlador de plataforma 115 ajusta las plataformas 109, 111 de modo que alcance la magnitud calculada de velocidad de movimiento de la plataforma. Cuando el objeto a ser procesado se somete al procesamiento por láser mediante el aparato de procesamiento por láser así regulado, la distancia entre

60 puntos modificados adyacentes puede alcanzar una magnitud deseable. Los datos de la magnitud así calculada de frecuencia de repetición y de magnitud de velocidad de movimiento de la plataforma también se envían al monitor 129, por lo que se visualizan los valores así calculados.

65 Se explicará ahora el método de procesamiento por láser de acuerdo con el octavo ejemplo. El objeto 1 a ser procesado es una oblea de silicio. En el octavo ejemplo, se llevan a cabo las operaciones de las etapas S101 a S111 en una forma similar a las del método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo mostrado

en la Fig. 15.

Después de la etapa S111, se determina la distancia entre puntos de fusión adyacentes a los puntos de fusión formados mediante un pulso de láser de impulso, es decir, la magnitud del paso p. El paso p se determina a la vista del grosor y del material del objeto 1 y similares. La magnitud del paso p se suministra al interior del controlador global 127 mostrado en la Fig. 88.

A continuación, en una forma similar a la del método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 15, se llevan a cabo las operaciones de las etapas S113 a S115. Esto divide al objeto 1 en chips de silicio.

Tal como se ha explicado en lo precedente, el octavo ejemplo puede controlar la distancia entre puntos de fusión adyacentes mediante la regulación de la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser de pulsos y la regulación de las magnitudes de las velocidades de movimiento de la plataforma 109 del eje X y de la plataforma 111 del eje Y. El cambio de la magnitud de la distancia a la vista del grosor y del material del objeto 1 y similares permite el procesamiento de conformidad con el propósito pretendido.

[Noveno ejemplo]

Un noveno ejemplo cambia la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser que irradia el objeto a ser procesado en la dirección de incidencia al objeto, formando de ese modo una pluralidad de zonas modificadas en alineación con la dirección de incidencia.

La formación de una pluralidad de zonas modificadas se explicará en términos de una zona de grietas a modo de ejemplo. La Fig. 89 es una vista en perspectiva de un objeto 1 a ser procesado formado con dos zonas de grietas 9 dentro del objeto 1 mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el noveno ejemplo de esta realización.

Se explicará brevemente un método de formación de dos zonas de grietas 9. Primero, el objeto 1 es irradiado con una luz láser de pulsos L, mientras que el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos L se sitúa dentro del objeto 1 próximo a su cara posterior 21 y se mueve a lo largo de una línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Esto forma la zona de grietas 9 (9A) a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto dentro del objeto 1 próxima a la cara posterior 21. Posteriormente, el objeto 1 es irradiado con la luz láser de pulsos L, mientras que el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos L se sitúa dentro del objeto 1 próximo a su superficie 3 y se mueve a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Esto forma una zona de grietas 9 (9B) a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto dentro del objeto 1 próxima a la superficie 3.

A continuación, tal como se muestra en la Fig. 90, las grietas 91 crecen naturalmente a partir de las zonas de grietas 9A, 9B. Específicamente, las grietas 91 crecen naturalmente a partir de la zona de grietas 9A hacia la cara posterior 21, desde la zona de grietas 9A (9B) hacia la zona de grietas 9B (9A), y desde la zona de grietas 9B hacia la superficie 3. Esto puede formar unas grietas 9 alargadas en la dirección del grosor del objeto en la superficie del objeto 1 que se extienden a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, es decir la superficie para convertirse en una sección transversal. Por ello, el objeto 1 se puede cortar a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto artificialmente mediante la aplicación de una fuerza relativamente pequeña al mismo o naturalmente sin aplicación de dicha fuerza.

Como en lo precedente, el noveno ejemplo forma una pluralidad de zonas de grietas 9, incrementando de ese modo el número de localizaciones a convertirse en puntos de inicio cuando se corta al objeto 1. En consecuencia, el noveno ejemplo hace posible cortar el objeto 1 incluso en los casos en los que el objeto 1 tiene un grosor relativamente grande. El objeto 1 está hecho de un material en el que las grietas 91 es difícil que crezcan después de la formación de las zonas de grietas 9, y así sucesivamente.

Cuando el corte es difícil mediante las dos zonas de grietas 9 solamente, se forman tres o más zonas de grietas 9. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 91, se forma una zona de grietas 9C entre la zona de grietas 9A y la zona de grietas 9B. El corte se puede conseguir también en una dirección ortogonal a las dimensiones del grosor del objeto 1 siempre que sea la dirección de incidencia de la luz láser tal como se muestra en la Fig. 92.

Preferiblemente, en el noveno ejemplo, se forman sucesivamente una pluralidad de zonas de grietas 9 desde el lado más alejado de la cara de entrada (por ejemplo, la superficie 3) del objeto a ser procesado sobre el que incide la luz láser de pulsos L. Por ejemplo, en la Fig. 89, se forma primero la zona de grietas 9A y a continuación se forma la zona de grietas 9B. Si las zonas de grietas 9 se forman sucesivamente desde el lado más próximo a la cara de entrada, el pulso de láser L irradiado en el momento de formación de la zona de grietas 9 a ser formada posteriormente será dispersado por la zona de grietas 9 formada anteriormente. En consecuencia, tienen lugar desviaciones en los tamaños de la parte de grietas (punto de grieta) formada mediante un disparo de la luz láser de pulsos L que constituye la zona de grietas 9 formada posteriormente. Por ello, la zona de grietas 9 formada

posteriormente no se puede formar de modo uniforme. La formación de las zonas de grietas 9 sucesivamente desde el lado más alejado de la cara de entrada no genera la dispersión mencionada anteriormente, por lo que la zona de grietas 9 formada posteriormente se puede formar de modo uniforme.

5 Sin embargo, el orden de formación de una pluralidad de zonas de grietas 9 en el noveno ejemplo de esta realización no está restringido al mencionado anteriormente. Se pueden formar sucesivamente desde el lado más próximo a la cara de entrada del objeto a ser procesado, o formarse aleatoriamente. En la formación aleatoria, por ejemplo en la Fig. 91, se forma primero la zona de grietas 9C, a continuación la zona de grietas 9B y finalmente se forma la zona de grietas 9A mediante la inversión de la dirección de incidencia de la luz láser.

10 Aunque se explica la formación de una pluralidad de zonas modificadas en el caso de zonas de grietas, lo mismo se mantiene en zonas procesadas por fusión y zonas de cambio del índice de refracción. Aunque la explicación se refiere a luz láser de pulsos, lo mismo se mantiene para luz láser de onda continua.

15 El aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el noveno ejemplo tiene una configuración similar a la del aparato de procesamiento por láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 14. En el noveno ejemplo, la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1 a ser procesado se ajusta mediante la plataforma 113 del eje Z. Esto puede ajustar el punto de convergencia de luz P de modo que lo sitúe en una posición más próxima a, o más alejada de, la cara de entrada (superficie 3) que es una posición a medio grosor en la dirección del grosor del objeto 1 a ser procesado, y en una posición sustancialmente a mitad del grosor.

25 En este caso, el ajuste de la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto a ser procesado provocado por la plataforma del eje Z se explicará con referencia las Figs. 93 y 94. En el noveno ejemplo de esta realización, la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser en la dirección del grosor del objeto a ser procesado se ajusta de modo que se sitúe en una posición deseable dentro del objeto con referencia a la superficie (cara de entrada) del objeto. La Fig. 93 muestra el estado en el que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa en la superficie 3 del objeto 1. Cuando la plataforma del eje Z se mueve en z hacia la lente de convergencia de luz 105, el punto de convergencia de luz P se mueve desde la superficie 3 al interior del objeto 1 tal como se muestra en la Fig. 94. La cantidad de movimiento del punto de convergencia de luz P dentro del objeto 1 es Nz (donde N es el índice de refracción del objeto 1 con respecto a la luz láser L). Por ello, cuando se mueve la plataforma del eje Z a la vista del índice de refracción del objeto 1 con respecto a la luz láser L, se puede controlar la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1. Concretamente, se define una posición deseable del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1 como la distancia (Nz) desde la superficie 3 al interior del objeto 1. El objeto 1 se mueve en la dirección del grosor en una cantidad de movimiento (z) obtenida mediante la división de la distancia (Nz) por el índice de refracción anteriormente mencionado (N). Esto puede localizar el punto de convergencia de luz P en la posición deseable.

40 Tal como se ha explicado en el primer ejemplo, el controlador de plataforma 115 controla al movimiento de la plataforma 113 del eje Z de acuerdo con los datos del punto focal, de modo que el punto focal de luz visible se sitúa en la superficie 3. El aparato de procesamiento por láser 1 se ajusta de modo que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa en la superficie 3 en la posición de la plataforma 113 del eje Z en donde el punto focal de luz visible se sitúa en la superficie 3. Los datos de la cantidad de movimiento (z) explicados en las Figs. 93 y 94 se suministran a y se almacenan en el controlador global 127.

45 Con referencia a la Fig. 95, se explicará ahora el método de procesamiento por láser de acuerdo con el noveno ejemplo. La Fig. 95 es un diagrama de flujo para la explicación de este método de procesamiento por láser. El objeto 1 a ser procesado es una oblea de silicio.

50 La etapa S101 es la misma que la etapa S101 del primer ejemplo mostrado en la Fig. 15. Posteriormente, se mide el grosor del objeto 1. De acuerdo con el resultado de la medición del grosor y del índice de refracción del objeto 1, se determina la cantidad de movimiento (z) del objeto 1 en la dirección del eje Z (S103). Ésta es la cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del eje Z con referencia al punto de convergencia de luz de la luz láser L situada en la superficie 3 del objeto 1 para que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúe dentro del objeto 1. Concretamente, se determina la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1. La posición del punto de convergencia de luz P se determina a la vista del grosor y del material del objeto 1 y similares. En esta realización, se usan los datos de una primera cantidad de movimiento para la colocación del punto de convergencia de luz P próximo a la cara posterior dentro del objeto 1 y los datos de una segunda cantidad de movimiento para la colocación del punto de convergencia de luz P próximo a la superficie 3 dentro del objeto 1. Se forma una primera zona procesada por fusión a ser formada mediante el uso de los datos de la primera cantidad de movimiento. Se forma una segunda zona procesada por fusión a ser formada mediante el uso de los datos de la segunda cantidad de movimiento. Los datos de estas cantidades de movimiento se suministran al controlador global 127.

65 Las etapas S105 y S107 son las mismas que las etapas S105 y S107 en el primer ejemplo mostrado en la Fig. 15. Los datos del punto focal calculados mediante la etapa S107 se envían al controlador de plataforma 115. De

acuerdo con los datos del punto focal, el controlador de plataforma 115 mueve la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje Z (S109). Esto sitúa al punto focal de luz visible de la fuente de luz de observación 117 en la superficie 3. En este punto de la plataforma 113 del eje Z, el punto focal P de la luz láser de pulsos L se sitúa en la superficie 3. En este caso, de acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos imagen 125 calcula los
 5 datos de imagen ampliada de la superficie del objeto 1 que incluyen la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Los datos de imagen ampliada se envían al monitor 129 por medio del controlador global 127, por lo que se visualiza una imagen ampliada en la proximidad de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto sobre el monitor 129.

10 Los datos de la primera cantidad de movimiento determinados mediante la etapa S103 ya se han introducido en el controlador global 127 y se envían al controlador de plataforma 115. De acuerdo con estos datos de cantidad de movimiento, el controlador de plataforma 115 mueve el objeto 1 en la dirección del eje Z mediante el uso de la plataforma 113 del eje Z a una posición en donde el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa dentro del objeto 1 (S111). Esta posición en el interior está próxima a la cara posterior del objeto 1.

15 A continuación, como en la etapa S113 del primer ejemplo mostrado en la Fig. 15, se forma una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 de modo que se extienda a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto (S113). La zona procesada por fusión se forma próxima a la cara posterior dentro del objeto 1.

20 A continuación, de acuerdo con los datos de la segunda cantidad de movimiento, en la etapa S111, se mueve el objeto 1 en la dirección del eje Z mediante la plataforma 113 del eje Z a una posición en donde el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa dentro del objeto 1 (S115). Posteriormente, como en la etapa S113, se forma una zona procesada por fusión dentro del objeto 1 (S117). En esta etapa, la zona procesada por fusión se forma próxima a la superficie 3 dentro del objeto 1.

25 Finalmente, el objeto 1 se curva lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, y por ello se corta (S119). Esto divide al objeto 1 en chips de silicio.

30 Se explicarán los efectos del noveno ejemplo. El noveno ejemplo forma una pluralidad de zonas modificadas en alineación en la dirección de incidencia, incrementando de ese modo el número de localizaciones a convertirse en puntos de inicio cuando se corta al objeto 1. En el caso en que el tamaño del objeto 1 en la dirección de incidencia de la luz láser sea relativamente grande o donde el objeto 1 esté hecho de un material en el que sean difíciles de crecer las dietas a partir de la zona modificada, por ejemplo, el objeto 1 es difícil de cortar cuando solamente existe una zona modificada a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. En un caso así, la
 35 formación de una pluralidad de zonas modificadas como en esta realización puede cortar fácilmente el objeto 1.

[Décimo ejemplo]

40 Un décimo ejemplo controla la posición de la zona modificada en la dirección del grosor del objeto a ser procesado mediante el ajuste del punto de convergencia de luz de la luz láser en la dirección del grosor del objeto.

Este control posicional se explicará en términos de una zona de grietas a modo de ejemplo. La Fig. 96 es una vista en perspectiva de un objeto 1 a ser procesado en el que se forma una zona de grietas 9 dentro del objeto 1 mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el décimo ejemplo de esta realización. El
 45 punto de convergencia de luz del láser de pulsos L se sitúa dentro del objeto 1 a través de la superficie (cara de entrada) 3 del objeto con respecto a la luz láser de pulsos L. El punto de convergencia de luz se ajusta de modo que se sitúe en una posición sustancialmente a medio grosor en la dirección del grosor del objeto 1. Cuando el objeto 1 a ser procesado es irradiado con la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en estas condiciones, se forma una zona de grietas 9 a lo largo de una línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en
 50 una posición de medio grosor del objeto 1 y en su proximidad.

La Fig. 97 es una vista parcialmente en sección del objeto 1 mostrado en la Fig. 96. Después de que se forme la zona de grietas 9, las grietas 91 crecen naturalmente hacia la superficie 3 y la cara posterior 21. Cuando se forma la zona de grietas 9 en la posición de mitad del grosor y en su proximidad en la dirección del grosor del objeto 1, la
 55 distancia entre la grieta crece naturalmente 91 y la superficie 3 (cara posterior 21) puede hacerse relativamente grande, por ejemplo, en el caso en el que el objeto 1 tenga un grosor relativamente grande. Por lo tanto, una parte a ser cortada que se extiende a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto en el objeto 1 mantiene una resistencia hasta un cierto grado. Por lo tanto, cuando se lleva a cabo la etapa de corte del objeto 1 después de terminar el procesamiento por láser, el manejo del objeto se convierte en más fácil.

60 La Fig. 98 es una vista en perspectiva de un objeto 1 a ser procesado que incluye una zona de grietas 9 formada mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con el décimo ejemplo como con la Fig. 96. La zona de grietas 9 mostrada en la Fig. 98 se forma cuando el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos L se ajusta de modo que se sitúe en una posición más próxima a la superficie (cara de entrada) 3 que está en una
 65 posición a mitad del grosor en la dirección del grosor del objeto 1. La zona de grietas 9 se forma sobre el lado de la superficie 3 dentro del objeto 1. La Fig. 99 es una vista parcialmente en sección del objeto 1 mostrado en la Fig. 98.

Dado que la zona de grietas 9 se forma sobre el lado de la superficie 3, las grietas 91 que crecen naturalmente alcanzan la superficie 3 o su proximidad. Por ello, ocurrirán en la superficie 3 fracturas que se extienden a lo largo de la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto, por lo que se puede cortar fácilmente el objeto 1.

5 En el caso en el que la superficie 3 del objeto 1 esté formada con dispositivos electrónicos y patrones de electrodos en particular, la formación de la zona de grietas 9 próxima a la superficie 3 puede impedir que los dispositivos electrónicos y similares sean dañados cuando se corta al objeto 1. Concretamente, las grietas que crecen 91 desde la zona de grietas 9 hacia la superficie 3 y la cara posterior 21 del objeto 1 cortan el objeto 1. El corte se puede conseguir mediante el crecimiento natural de las grietas 91 en solitario o mediante el crecimiento de las grietas 91 artificialmente además del crecimiento natural de las grietas 91. Cuando la distancia entre la zona de grietas 9 y la superficie 3 es relativamente grande, la desviación en la dirección de crecimiento de las grietas 91 sobre el lado de la superficie 3 se hace mayor. En consecuencia, las grietas 91 pueden alcanzar zonas formadas con dispositivos electrónicos y similares, dañando de ese modo los dispositivos electrónicos y similares. Cuando la zona de grietas 9 se forma próxima a la superficie 3, la distancia entre la zona de grietas 9 y la superficie 3 es relativamente corta, por lo que la desviación en la dirección de crecimiento de las grietas 91 se puede hacer más pequeña. Por lo tanto, el corte se puede efectuar sin dañar los dispositivos electrónicos y similares. Cuando la zona de grietas 9 se forma en una localización demasiado próxima a la superficie 3, la zona de grietas 9 se forma en la superficie 3. En consecuencia, la forma aleatoria de la zona de grietas 9 en sí aparece en la superficie 3, lo que produce desprendimientos, deteriorando de ese modo la precisión en la rotura y corte.

20 La zona de grietas 9 se puede formar también mientras se ajusta al punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos L de modo que se sitúe en una posición alejada de la superficie 3 que está en una posición a mitad del grosor en la dirección del grosor del objeto 1. En este caso, la zona de grietas 9 se forma sobre el lado de la cara posterior 21 dentro del objeto 1.

25 Como en la Fig. 96, la Fig. 100 es una vista en perspectiva del objeto 1 que incluye zonas de grietas formadas mediante el uso del método de procesamiento por láser de acuerdo con la presente invención. La zona de grietas 9 en la dirección del eje X mostrada en la Fig. 100 se forma cuando el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos L se ajusta de modo que se sitúa en una posición alejada de la superficie (cara de entrada) 3 que está en una posición de medio grosor en la dirección del grosor del objeto 1. La zona de grietas 9 en la dirección del eje Y se forma cuando el punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos L se ajusta de modo que se sitúe en una posición más próxima a la superficie 3 que está en la posición de medio grosor en la dirección del grosor del objeto 1. La zona de grietas 9 en la dirección del eje X y la zona de grietas 9 la dirección del eje Y se cruzan entre sí tridimensionalmente.

35 Cuando el objeto 1 es una oblea de semiconductor, por ejemplo, se forman una pluralidad de zonas de grietas 9 paralelas en cada una de las direcciones del eje X e Y. Esto forma las zonas de grietas 9 como un entramado en la oblea de semiconductor, mientras que este último se divide en chips individuales mientras se usan las zonas de grietas similares a un entramado como puntos de inicio. Cuando la zona de grietas 9 en la dirección del eje X y la zona de grietas 9 en la dirección del eje Y se sitúan en la misma posición en la dirección del grosor del objeto 1, tiene lugar una localización en donde la zona de grietas 9 en la dirección del eje X y la zona de grietas 9 en la dirección del eje Y se intersectan entre sí en ángulos rectos. En la localización en la que las zonas de grietas 9 se interceptan entre sí en ángulos rectos, se superponen entre sí, lo que hace difícil para la sección transversal en la dirección del eje X y la sección transversal en la dirección del eje Y intersectarse entre sí en ángulos rectos con alta precisión. Esto impide que el objeto 1 sea cortado con precisión en la intersección.

50 Cuando la posición de la zona de grietas 9 en la dirección del eje X y la posición de la zona de grietas 9 en la dirección del eje Y difieren entre sí en la dirección del grosor del objeto 1 tal como se muestra en la Fig. 100, se puede impedir que la zona de grietas 9 en la dirección del eje X y la zona de grietas 9 en la dirección del eje Y se superpongan entre sí. Esto permite un corte preciso del objeto 1.

55 En la zona de grietas 9 en la dirección del eje X y la zona de grietas 9 en la dirección del eje Y, la zona de grietas 9 a ser formada posteriormente se forma preferiblemente más próxima a la superficie (cara de entrada) 3 que en la zona de grietas 9 formada anteriormente. Si la zona de grietas 9 a ser formada posteriormente se forma más próxima a la cara posterior 21 de lo que está la zona de grietas 9 formada anteriormente, la luz láser de pulsos L irradiada cuando se forma la zona de grietas 9 a ser formada posteriormente se dispersa mediante la zona de grietas 9 formada anteriormente en las localizaciones donde la sección transversal en la dirección del eje X y la sección transversal en la dirección del eje Y se intersectan entre sí en ángulo recto. Esto forma desviaciones entre el tamaño de una parte formada en una posición para superar la localización de intersección mencionada anteriormente y el tamaño de una parte formada en otra posición en la zona de grietas 9 así formadas. Por lo tanto, la zona de grietas 9 así formada posteriormente no se puede formar uniformemente.

65 Cuando la zona de grietas 9 a ser formada posteriormente se forma más próxima a la superficie 3 que lo que está la zona de grietas 9 formada anteriormente, por el contrario, la dispersión de la luz láser de pulsos L no tiene lugar en una posición a convertirse en la localización de intersección mencionada anteriormente, por lo que la zona de grietas 9 a ser formada posteriormente se pueden formar uniformemente.

5 Como se ha explicado en lo precedente, el décimo ejemplo ajusta la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser en la dirección del grosor del objeto a ser procesado, siendo capaz de ese modo de controlar la posición de una zona modificada en la dirección del grosor del objeto. El cambio de la posición del punto de convergencia de luz a la vista del grosor y material del objeto a ser procesado y similares permite el procesamiento por láser de conformidad con el objeto.

10 Aunque se explica el hecho de que pueda controlarse la posición de una zona modificada en el caso de una zona de grietas, lo mismo se mantiene en zonas procesadas por fusión y zonas de cambio del índice de refracción. Aunque la explicación se refiere a una luz láser de pulsos, lo mismo se mantiene para luz láser de onda continua.

15 El aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el décimo ejemplo tiene una configuración similar a la del aparato de procesamiento por láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 14. En el décimo ejemplo, la plataforma 113 del eje Z ajusta la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1. Esto puede ajustar el punto de convergencia de luz P de modo que se sitúe en una posición más próxima a, o más alejada de, la cara de entrada (superficie 3) que está en una posición a mitad del grosor en la dirección del grosor del objeto 1 o en una posición sustancialmente a mitad del grosor, por ejemplo. Estas operaciones de ajuste y la colocación del punto de convergencia de luz de la luz láser dentro del objeto se pueden conseguir mediante el movimiento de las lentes de convergencia de luz 105 en la dirección del eje z. Dado que hay casos en los que el objeto 1 se mueve en la dirección del grosor del mismo y donde las lentes de convergencia de luz 105 se mueven en la dirección del grosor del objeto 1 en la presente invención, la cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del grosor del objeto 1 se define como una primera cantidad de movimiento relativo o una segunda cantidad de movimiento relativo.

20 El ajuste del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto a ser procesado producida por la plataforma del eje Z es la misma que la del noveno ejemplo explicado con referencia a las Figs. 93 y 94.

25 El procesador de datos de imagen 125 calcula los datos del punto focal para la localización del punto focal de la luz visible generada por la fuente de luz de observación 117 sobre la superficie 3 asimismo de acuerdo con los datos de imagen en el décimo ejemplo. De acuerdo con estos datos de punto focal, el controlador de plataforma 115 controla al movimiento de la plataforma 113 del eje Z, de modo que sitúe el punto focal de luz visible en la superficie 3. El aparato de procesamiento por láser 1 se ajusta de modo que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa en la superficie 3 en la posición de la plataforma 113 del eje Z en donde el punto focal de luz visible se sitúa en la superficie 3. Por ello, los datos de punto focal son un ejemplo de una segunda cantidad de movimiento relativo del objeto 1 en la dirección del grosor del mismo requerida para la localización del punto de convergencia de luz P en la superficie (cara de entrada) 3. El procesador de datos de imagen 125 tiene una función de cálculo de la segunda cantidad de movimiento relativo.

30 Los datos de la cantidad de movimiento (z) explicados con referencia a las Figs. 93 y 94 se suministran al interior y se almacenan en el controlador global 127. Concretamente, el controlador global 127 tiene una función de almacenamiento de datos de la cantidad de movimiento relativo del objeto 1 a ser procesado en la dirección de grosor del objeto 1. El controlador global 127, el controlador de plataforma 115 y la plataforma 113 del eje Z ajustan la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser de pulsos que converge mediante la lente de convergencia de luz dentro del intervalo de grosor del objeto 1.

35 El método de procesamiento por láser de acuerdo con el décimo ejemplo se explicará con referencia al aparato de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 14 y el diagrama de flujo para el método de procesamiento por láser de acuerdo con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 15. El objeto 1 a ser procesado es una oblea de silicio.

40 La etapa S101 es la misma que la etapa S101 del primer ejemplo mostrado en la Fig. 15. Posteriormente, como en la etapa S103 del primer ejemplo mostrado en la Fig. 15, se mide el grosor del objeto 1. De acuerdo con los resultados de la medición del grosor y del índice de refracción, se determina la cantidad de movimiento (z) en la dirección del eje Z del objeto 1 (S103). Esta es la cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del eje Z con referencia al punto de convergencia de luz de la luz láser L situada en la superficie 3 del objeto 1 requerida para la colocación del punto de convergencia de luz P de la luz láser L dentro del objeto 1. Concretamente, se determina la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1. La cantidad de movimiento (z) en la dirección del eje Z es un ejemplo de datos de movimiento relativo del objeto 1 en la dirección del grosor del mismo. La posición del punto de convergencia de luz P se determina a la vista el grosor y del material del objeto 1, efectos del procesamiento (por ejemplo, facilidad para manejar y cortar el objeto) y similares. Estos datos de cantidad de movimiento se proporcionan al controlador global 127.

45 Las etapas S105 y S107 son similares a las etapas S105 y S107 del primer ejemplo mostrado en la Fig. 15. Los datos del punto focal calculados mediante la etapa S107 son datos de una segunda cantidad de movimiento en la dirección del eje Z del objeto 1.

65

- Estos datos del punto focal se envían al controlador de plataforma 115. De acuerdo con estos datos de punto focal, el controlador de plataforma 115 mueve la plataforma 113 del eje Z en la dirección del eje Z (S109). Esto sitúa el punto focal de luz visible de la fuente de luz de observación 117 en la superficie 3. En esta posición de la plataforma 113 del eje Z, el punto de convergencia de luz P de la luz láser de pulsos L se sitúa en la superficie 3. De acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imagen 125 calcula datos de imagen ampliados de la superficie del objeto 1 que incluyen la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto. Estos datos de imagen ampliada se envían al monitor 129 por medio del controlador global 127, por lo que se visualiza en el monitor 127 una imagen ampliada próxima a la línea 5 a lo largo de la que se pretende sea cortado el objeto.
- 5
- 10 Los datos de cantidad de movimiento relativo determinados en la etapa S103 ya se han introducido al controlador global 127, y se envían al controlador de plataforma 115. De acuerdo con estos datos de cantidad de movimiento, el controlador de plataforma 115 hace que la plataforma 113 del eje Z mueva el objeto 1 en la dirección del eje Z en una posición en la que el punto de convergencia de luz P de la luz láser se sitúa dentro del objeto 1 (S111).
- 15 Las etapas que S113 y S115 son similares a las etapas S113 y S115 mostradas en la Fig. 15. Lo anterior divide al objeto 1 en chips de silicio.

- Se explicarán los efectos del décimo ejemplo. El décimo ejemplo irradia el objeto 1 a ser procesado con luz láser de pulsos L mientras ajusta la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del grosor del objeto 1, formando de ese modo una zona modificada. Esto puede controlar la posición de la zona modificada en la dirección del grosor del objeto 1. Por lo tanto, el cambio de la posición de la zona modificada en la dirección del grosor del objeto 1 de acuerdo con el material y grosor del objeto 1, efectos del procesamiento y similares permite el corte de conformidad con el objeto 1.
- 20

25 **Aplicabilidad industrial**

- El método de procesamiento del objeto con capas de acuerdo con la presente invención puede cortar un objeto a ser procesado sin generar fusión o fracturas que se desvíen de las líneas a ser cortadas sobre una superficie del objeto. Por lo tanto, se puede mejorar el rendimiento y productividad de los productos (por ejemplo chips de semiconductor, chips de dispositivos piezoeléctricos y dispositivos de visualización tales como cristales líquidos) preparados mediante el corte de los objetos a ser procesados.
- 30

REIVINDICACIONES

1. Un método de procesamiento del objeto (31) hecho de un material transmisor de luz cuya superficie reposa en un plano X-Y, y está formado con una pluralidad de secciones de circuito (39), estando el método **caracterizado por** las siguientes etapas de:
- 5 irradiación del objeto (31) con luz láser (L) con un punto de convergencia de luz (P) dentro del objeto (31) para formar una primera zona modificada (9) solamente dentro del objeto (31) por debajo de una superficie de incidencia del láser del objeto (31),
- 10 en el que, la primera zona modificada (9) está separada de la superficie de incidencia del láser del objeto (31) por una distancia predeterminada, y adicionalmente en el que la primera zona modificada se forma mediante el movimiento del punto de convergencia de luz a lo largo de cada una de las primeras líneas a lo largo de las que se pretende sea cortado el objeto (31) en el eje X, extendiéndose las primeras líneas en una primera dirección de modo que pase a través
- 15 de los espacios entre las secciones del circuito (39); irradiación del objeto (31) con luz láser (L) con un punto de convergencia de luz (P) dentro del objeto (31) para formar una segunda zona modificada (9) solamente dentro del objeto (31) por debajo de la superficie de incidencia del láser del objeto (31),
- 20 en el que, la segunda zona modificada está separada de la superficie de incidencia del láser del objeto (31) en una distancia predeterminada, y adicionalmente en el que la segunda zona modificada (9) se forma mediante el movimiento del punto de convergencia de luz a lo largo de cada una de las segundas líneas a lo largo de las que el objeto similar a oblea (31) se pretende sea cortado en el eje Y, extendiéndose las segundas líneas en una segunda dirección que cruza con la primera dirección y pasa a través de los espacios entre las secciones del circuito (39); y
- 25 la división del objeto (31) a lo largo de la primera y segunda líneas que usan la primera y segunda zonas modificadas (9) como puntos de inicio para el corte del objeto (31) en una pluralidad de chips mediante la aplicación de tensiones al objeto (31) a través de una lámina (33) que tenga características elásticas fijada a la superficie posterior del objeto (31).
- 30 2. El método de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que la luz láser (L) es una luz láser de pulsos, en el que una potencia de pico de la luz láser de pulsos en cada punto de conversión de luz (P) no es más pequeño que $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$, y un ancho de pulso de la luz láser de pulsos no es mayor de $1 \mu\text{s}$.
- 35 3. El método de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que la luz láser (L) es una luz láser de pulsos, en el que una potencia de pico de la luz láser de pulsos en cada punto de conversión de luz (P) no es más pequeño que $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$, y un ancho de pulso de la luz láser de pulsos no es mayor de 1 ns.
- 40 4. El método de acuerdo con las Reivindicaciones 1 o 2, en el que las zonas modificadas (9) son una zona de grietas.
5. El método de acuerdo con las Reivindicaciones 1 o 2, en el que las zonas modificadas (9) son una zona procesada por fusión.
- 45 6. El método de acuerdo con las Reivindicaciones 1 o 3, en el que las zonas modificadas (9) son una zona de cambio del índice de refracción.

Fig.1

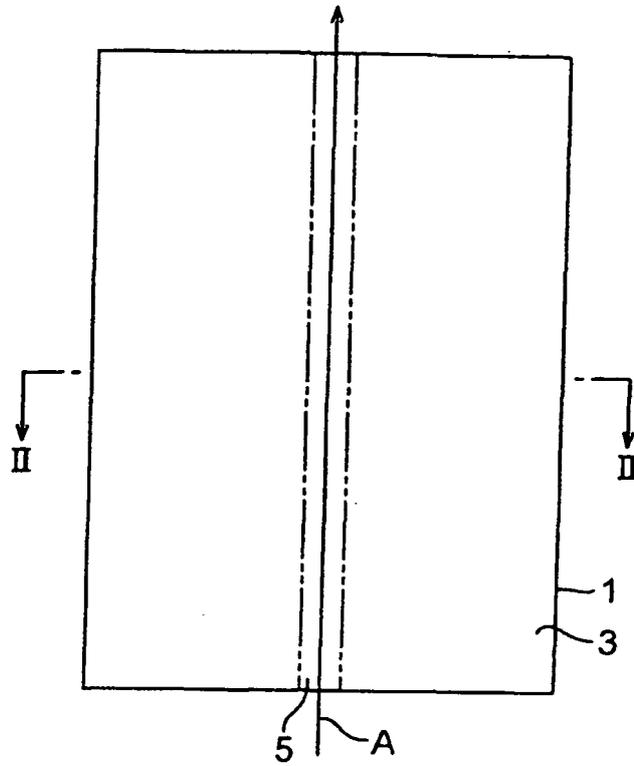


Fig.2

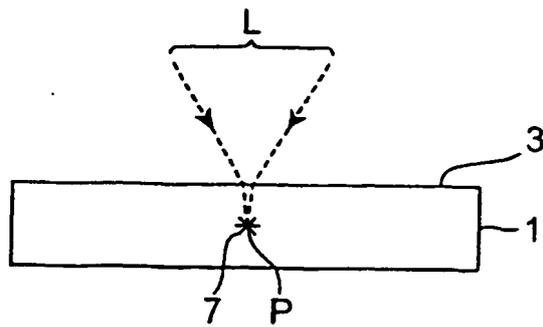


Fig.3

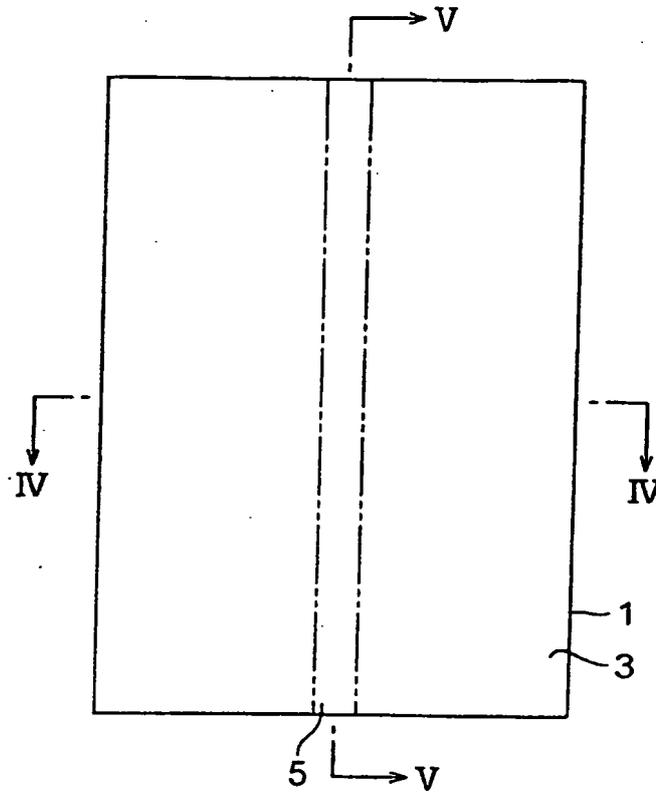


Fig.4

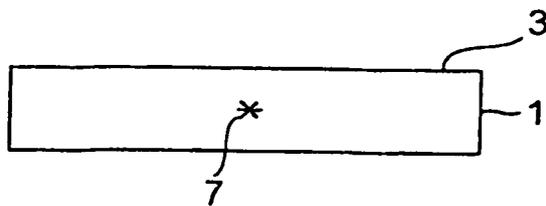


Fig.5

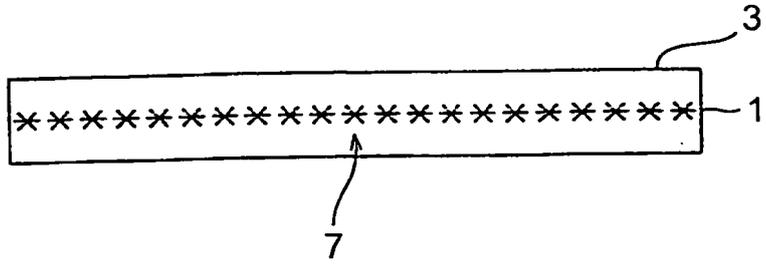


Fig.6

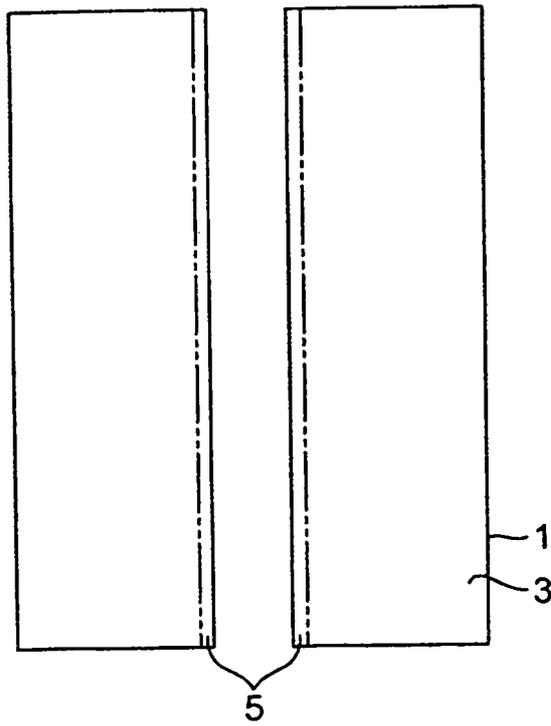


Fig.7

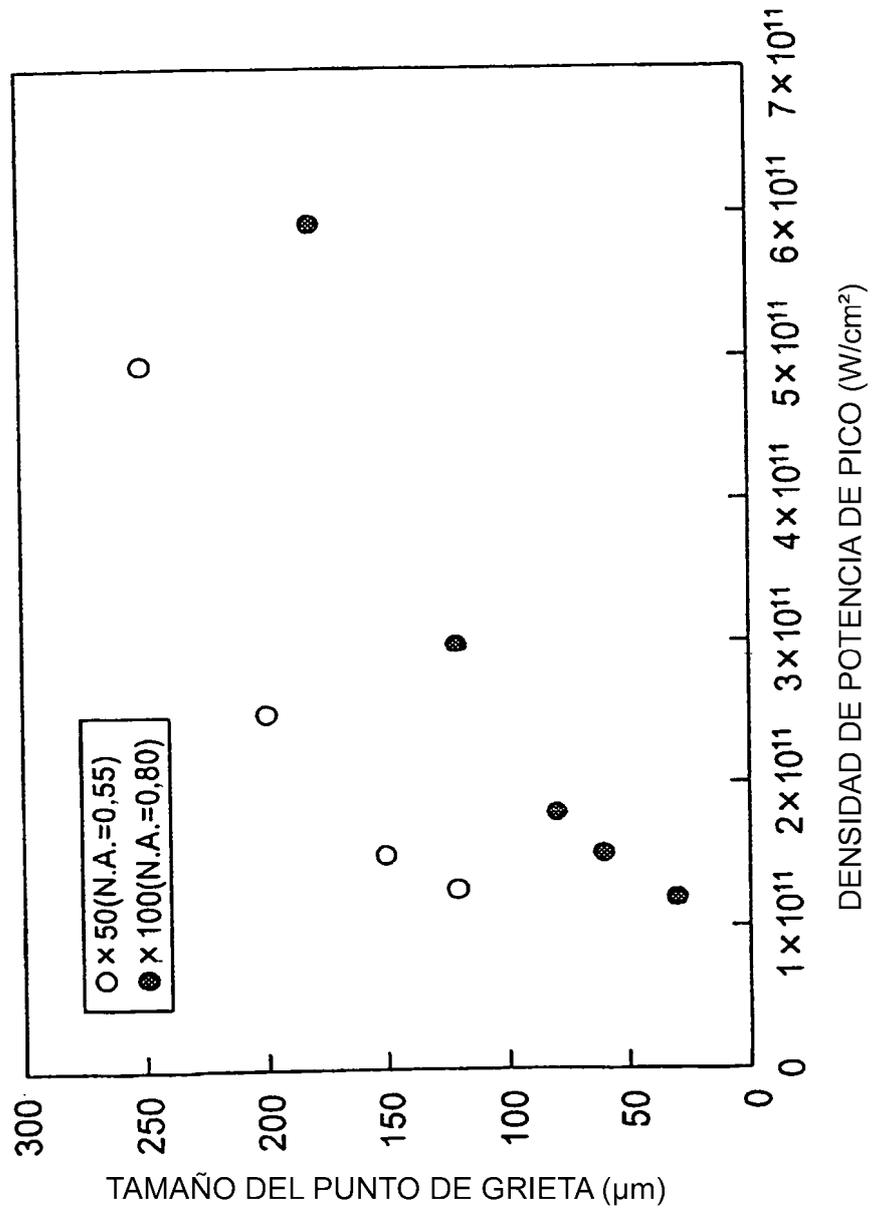


Fig.8

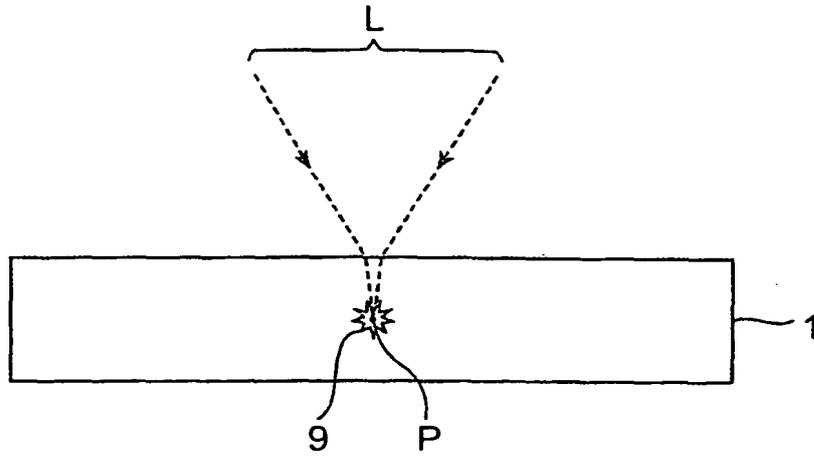


Fig.9

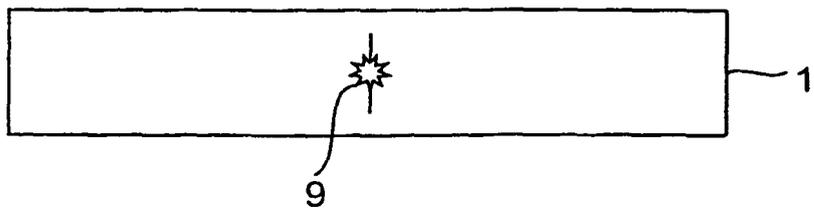


Fig.10

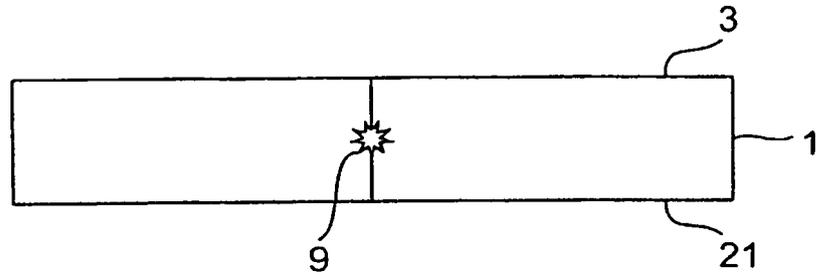
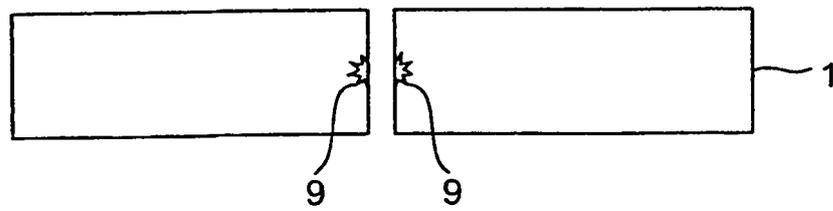


Fig.11



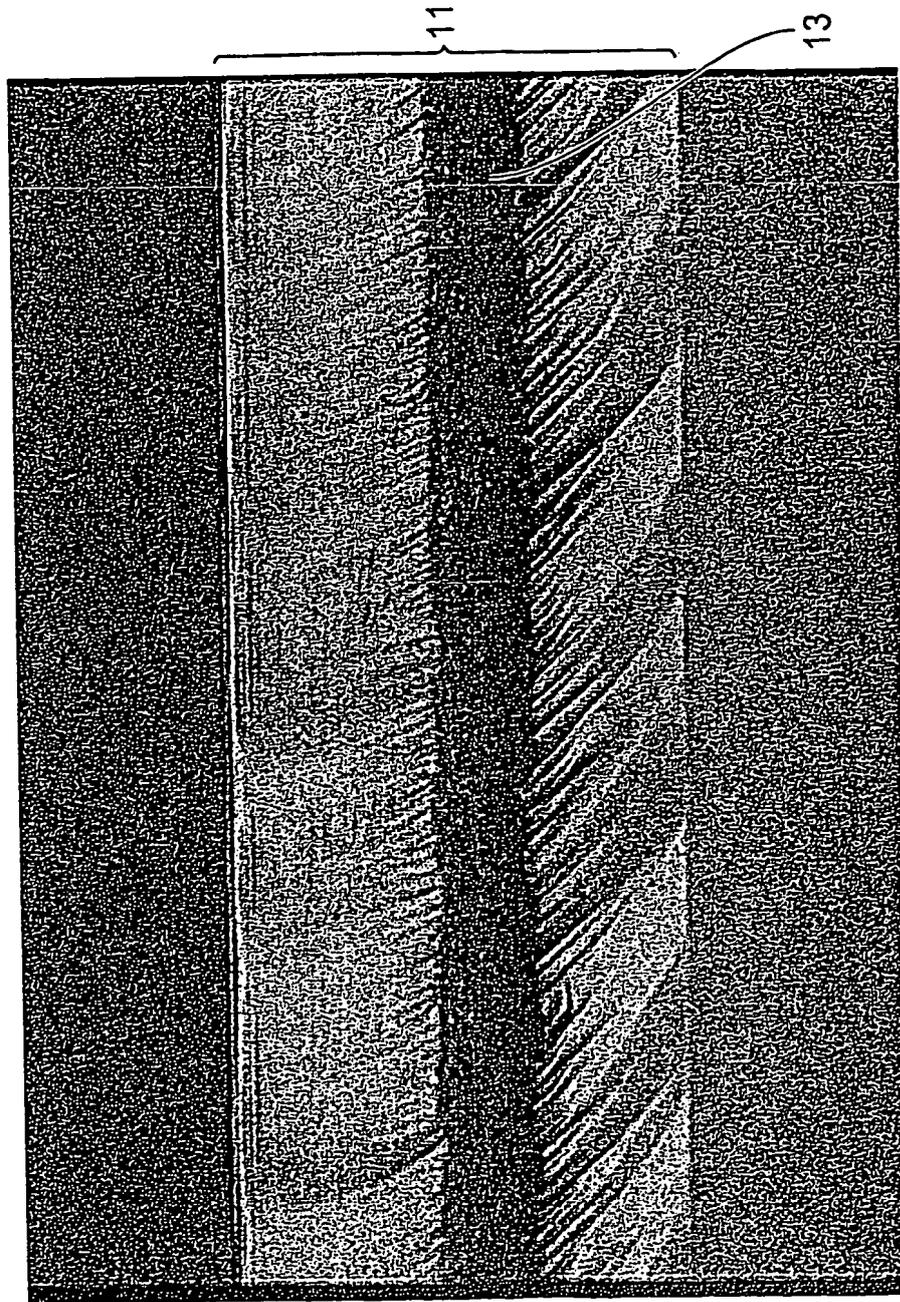


Fig.12

Fig.13

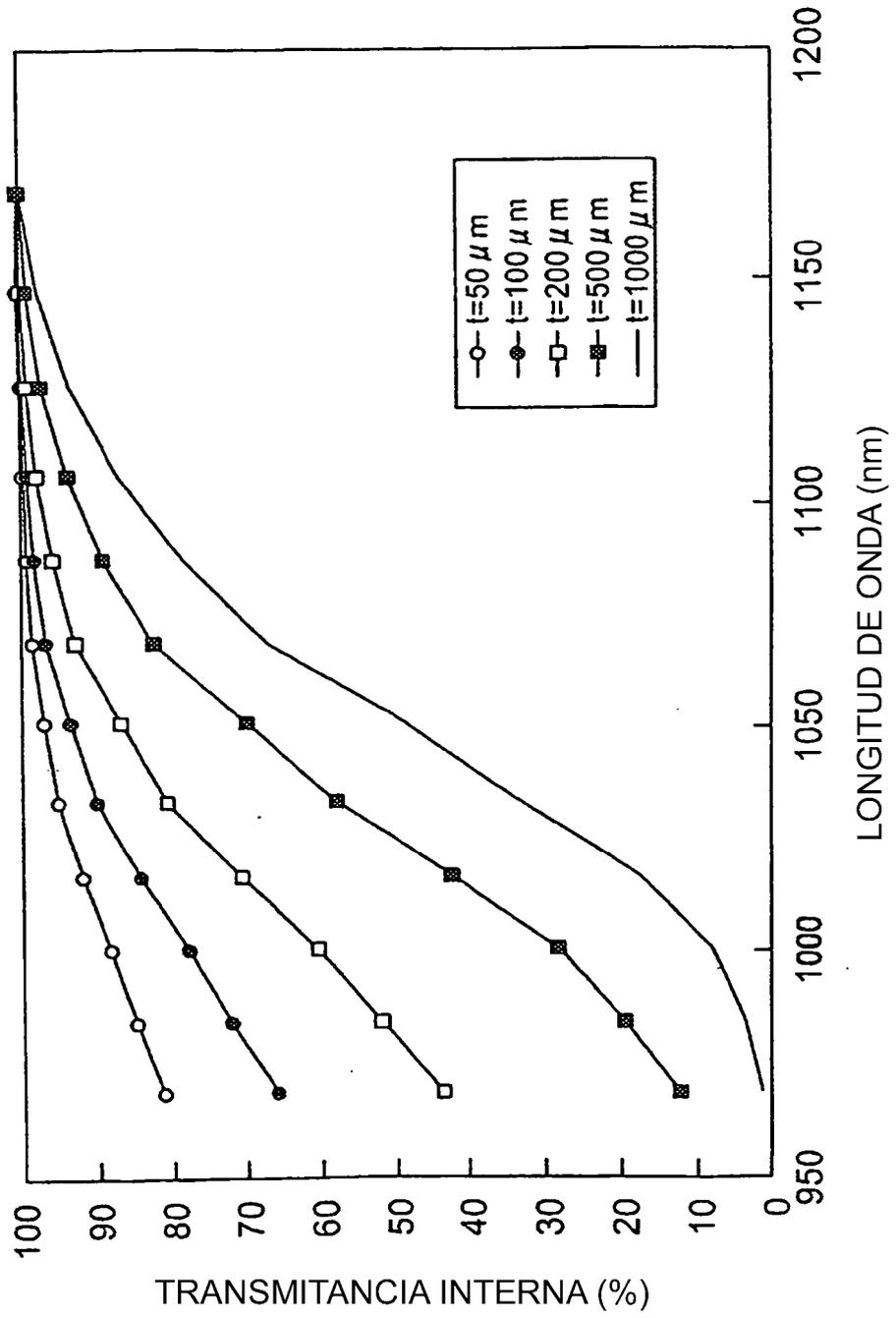


Fig.14

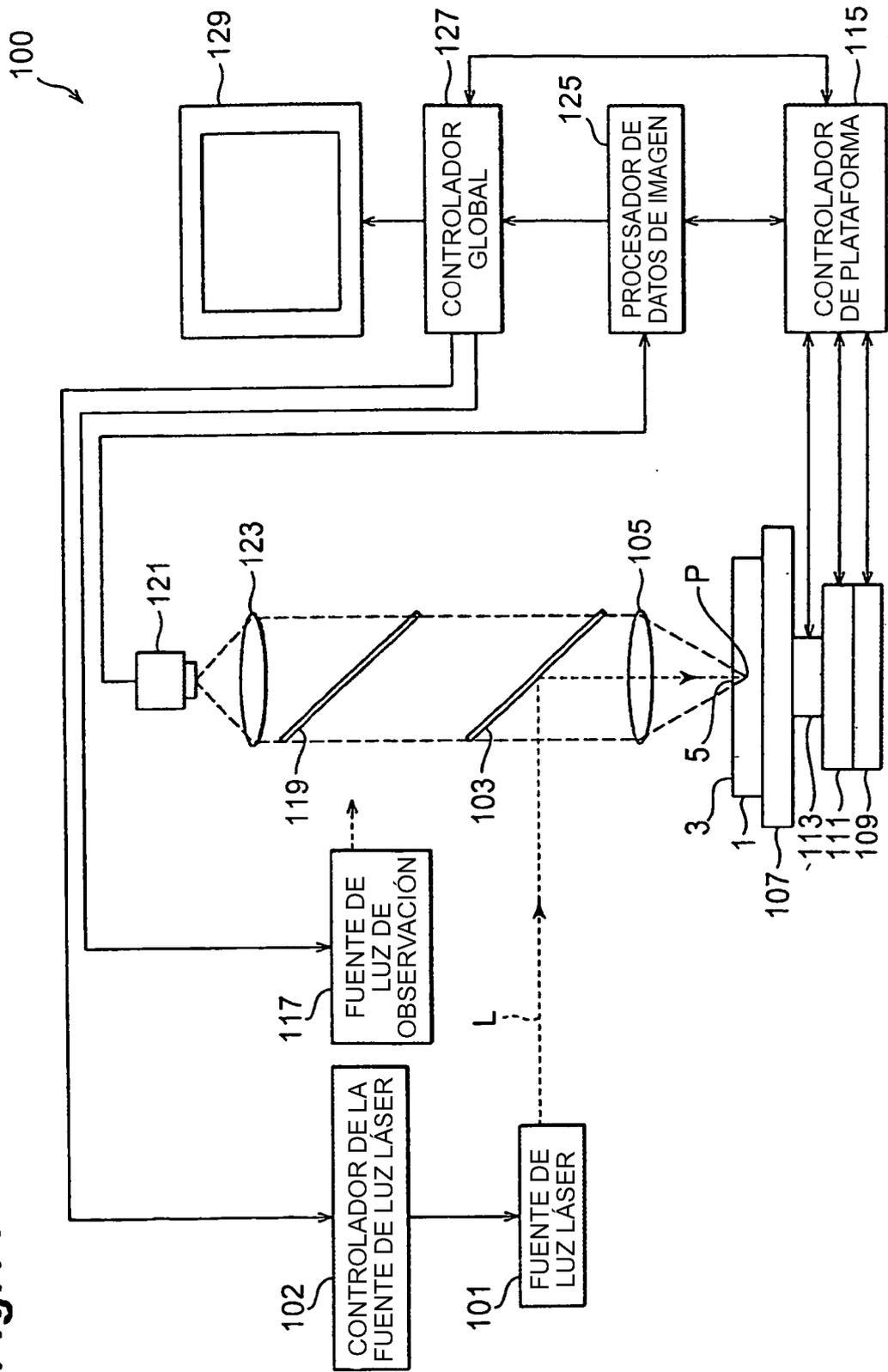


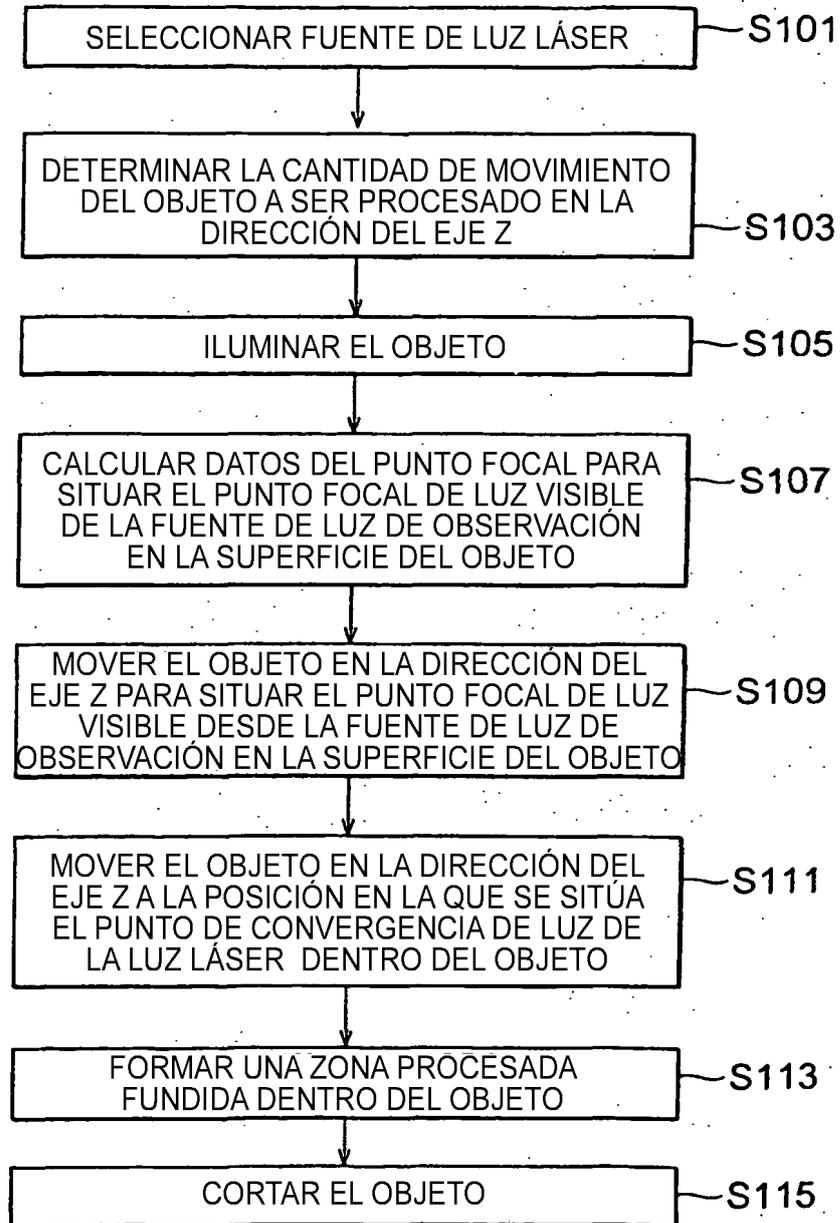
Fig.15

Fig.16

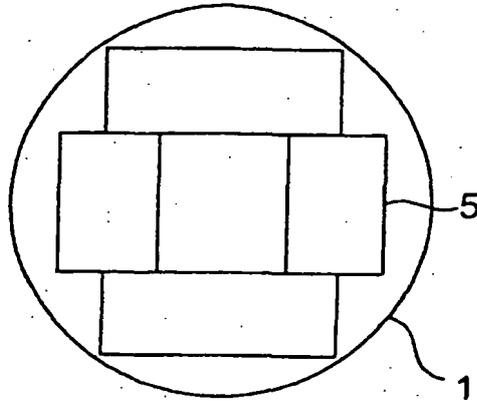


Fig.17

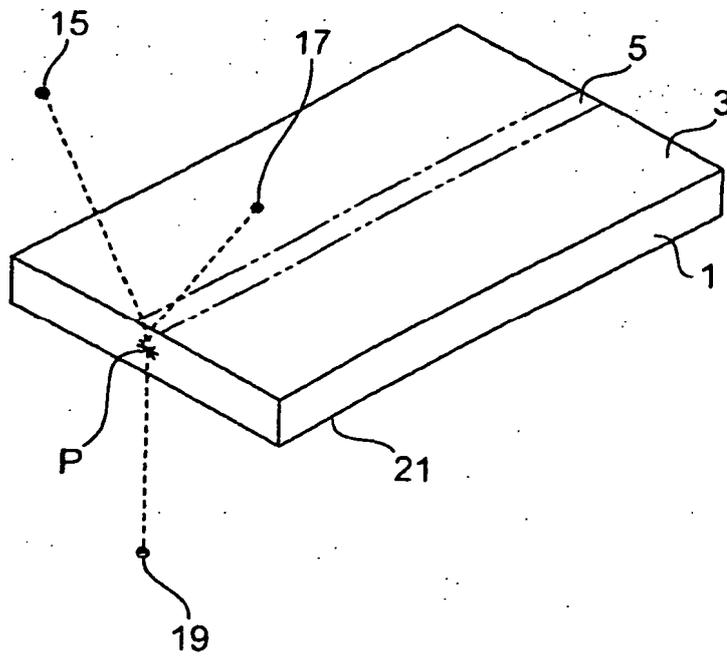


Fig.18

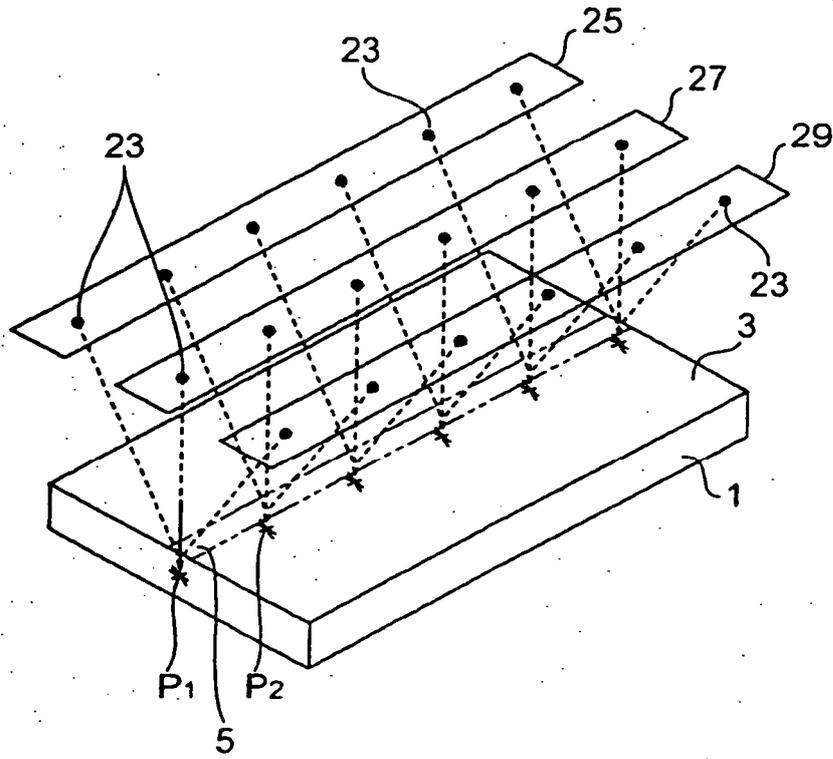


Fig.19

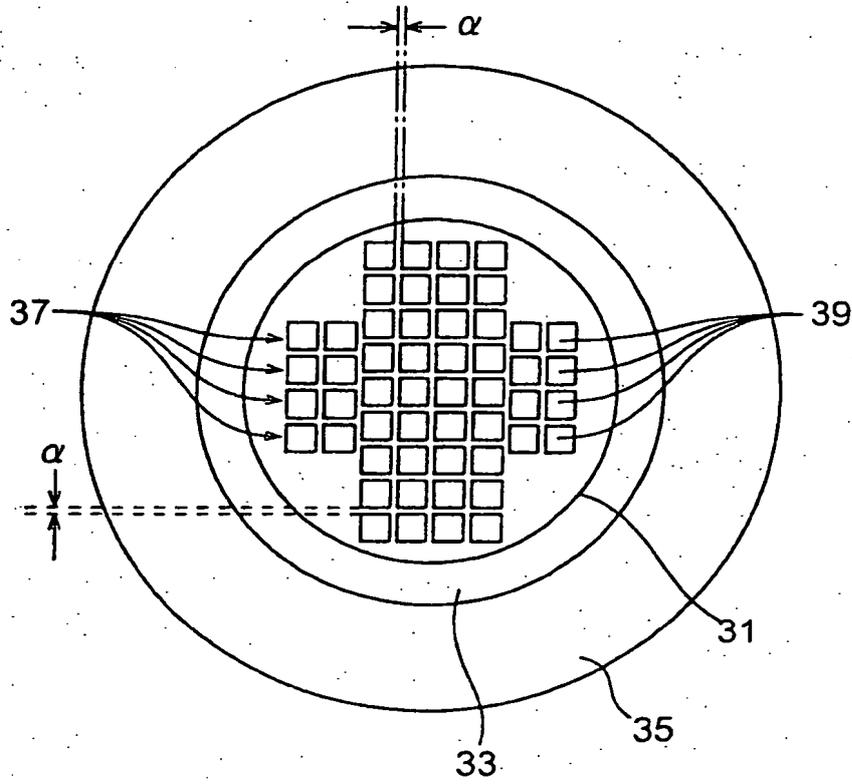


Fig.20

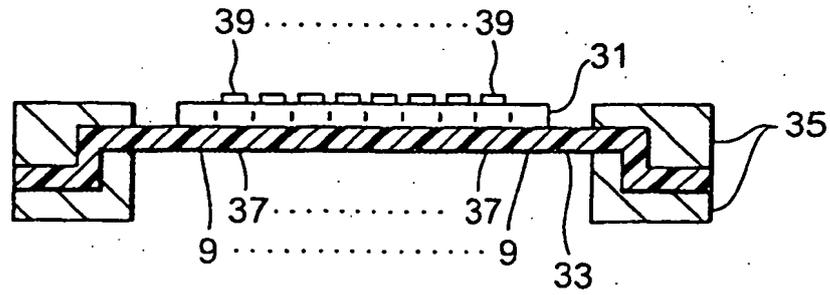


Fig.21

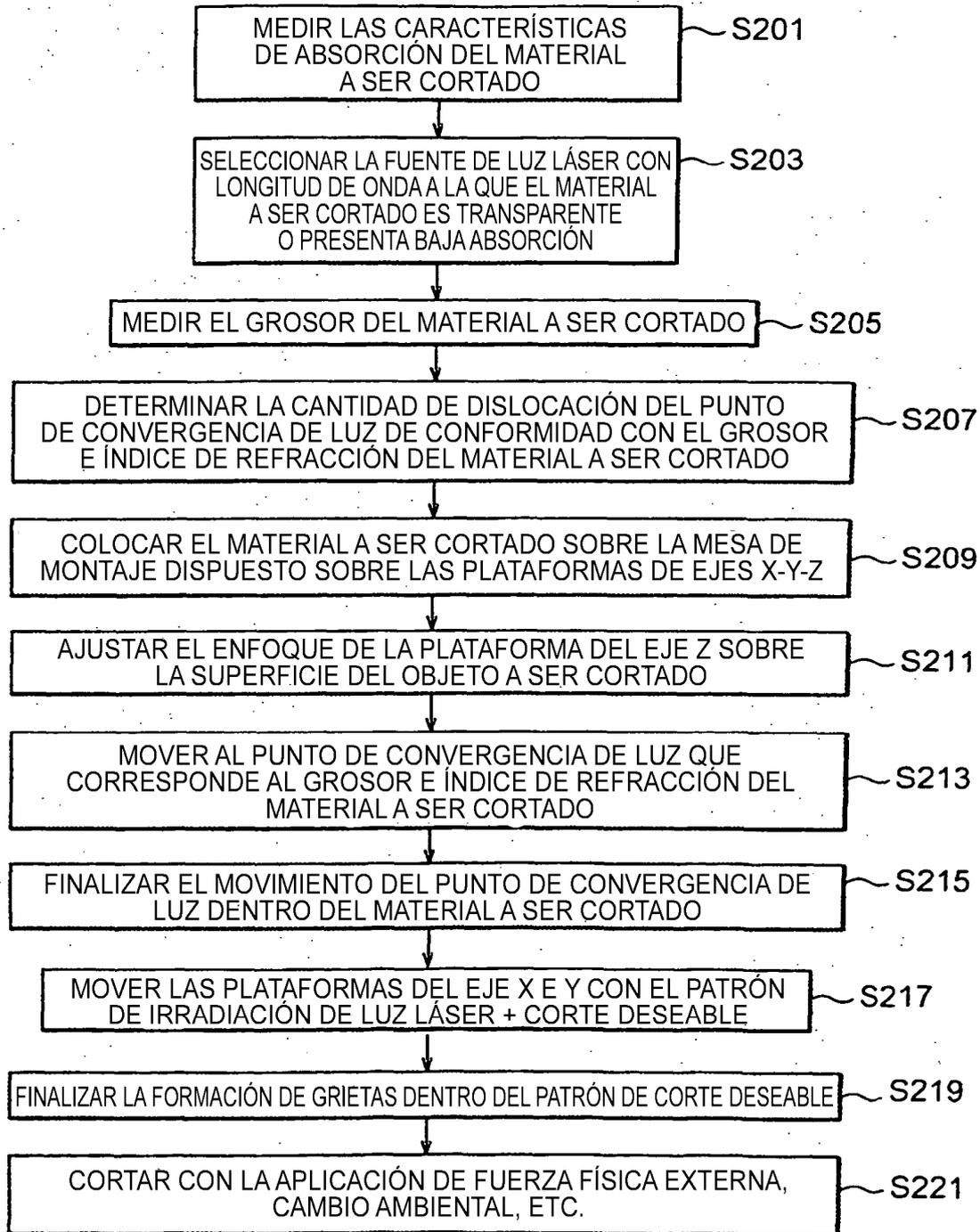


Fig.22

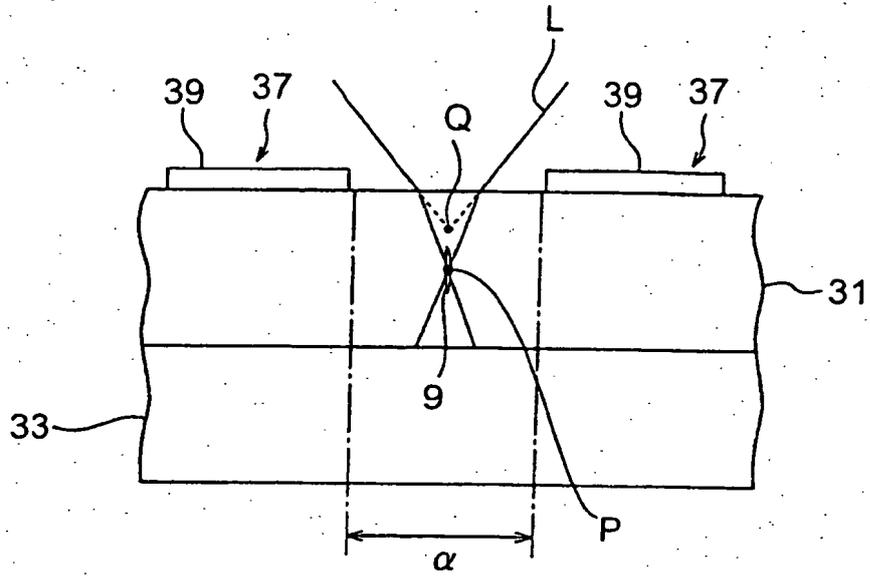


Fig.23

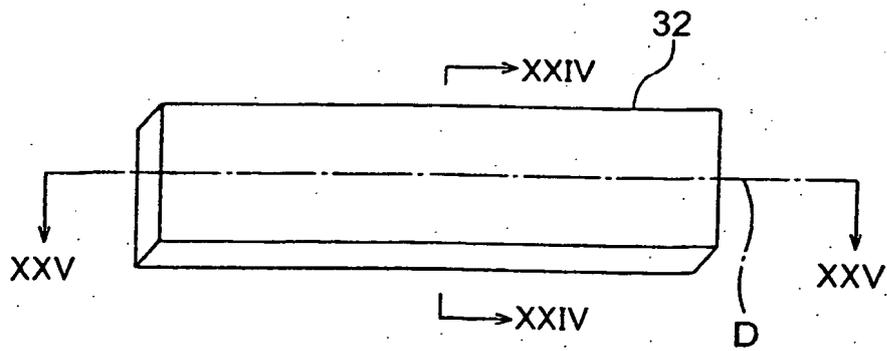


Fig.24

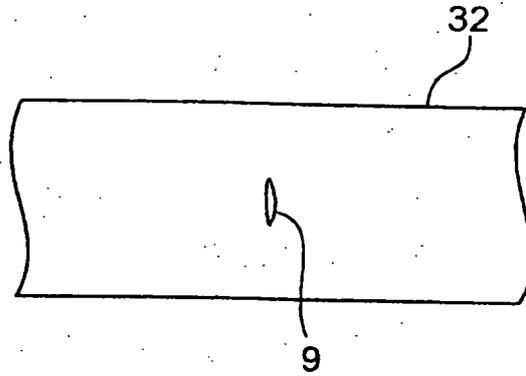


Fig.25

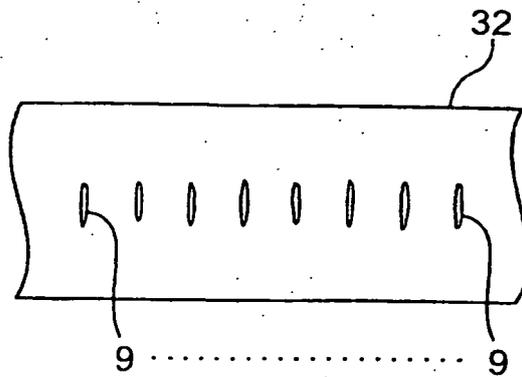


Fig.26

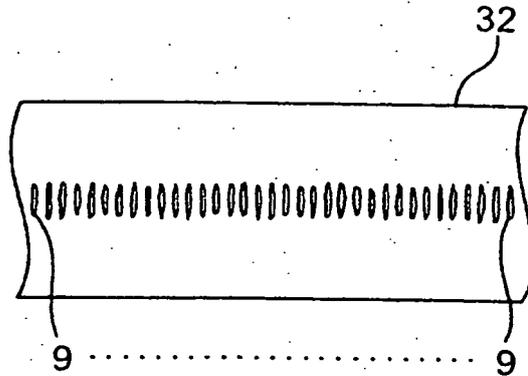


Fig.27

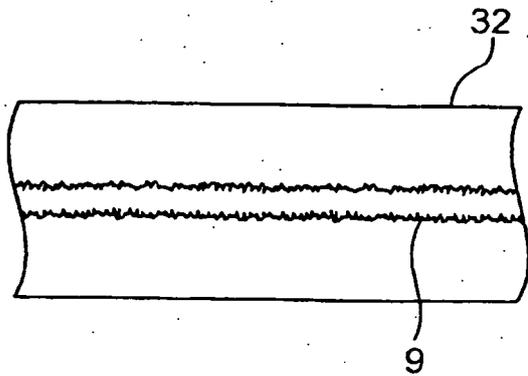


Fig.28

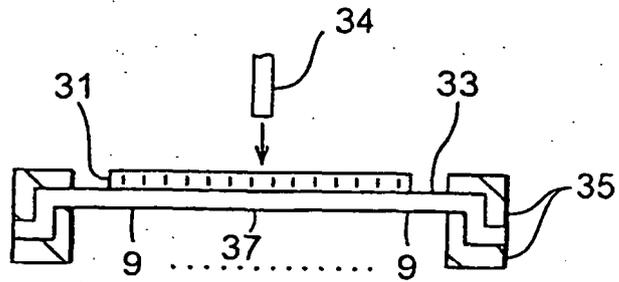


Fig.29

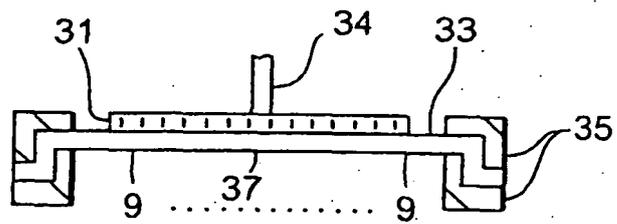


Fig.30

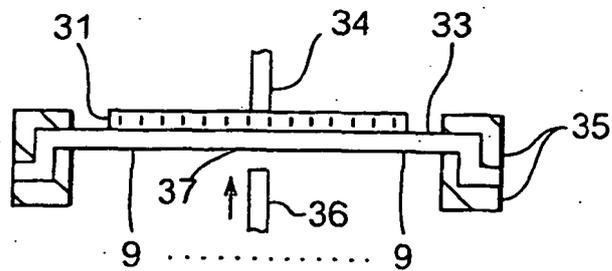


Fig.31

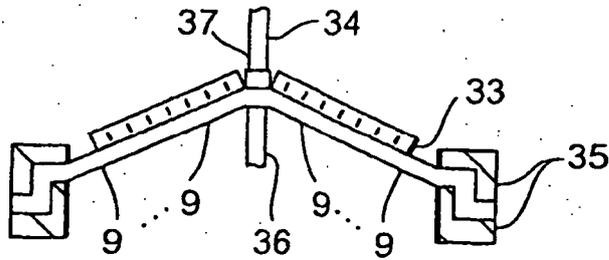


Fig.32

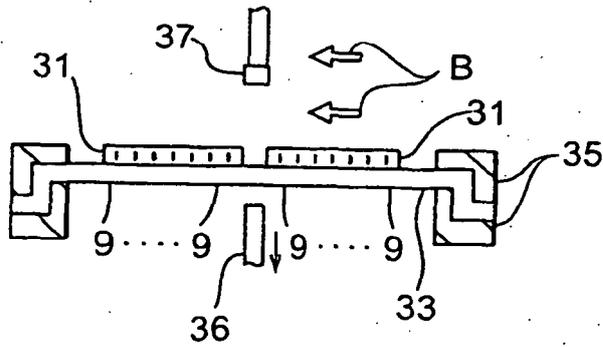


Fig. 33

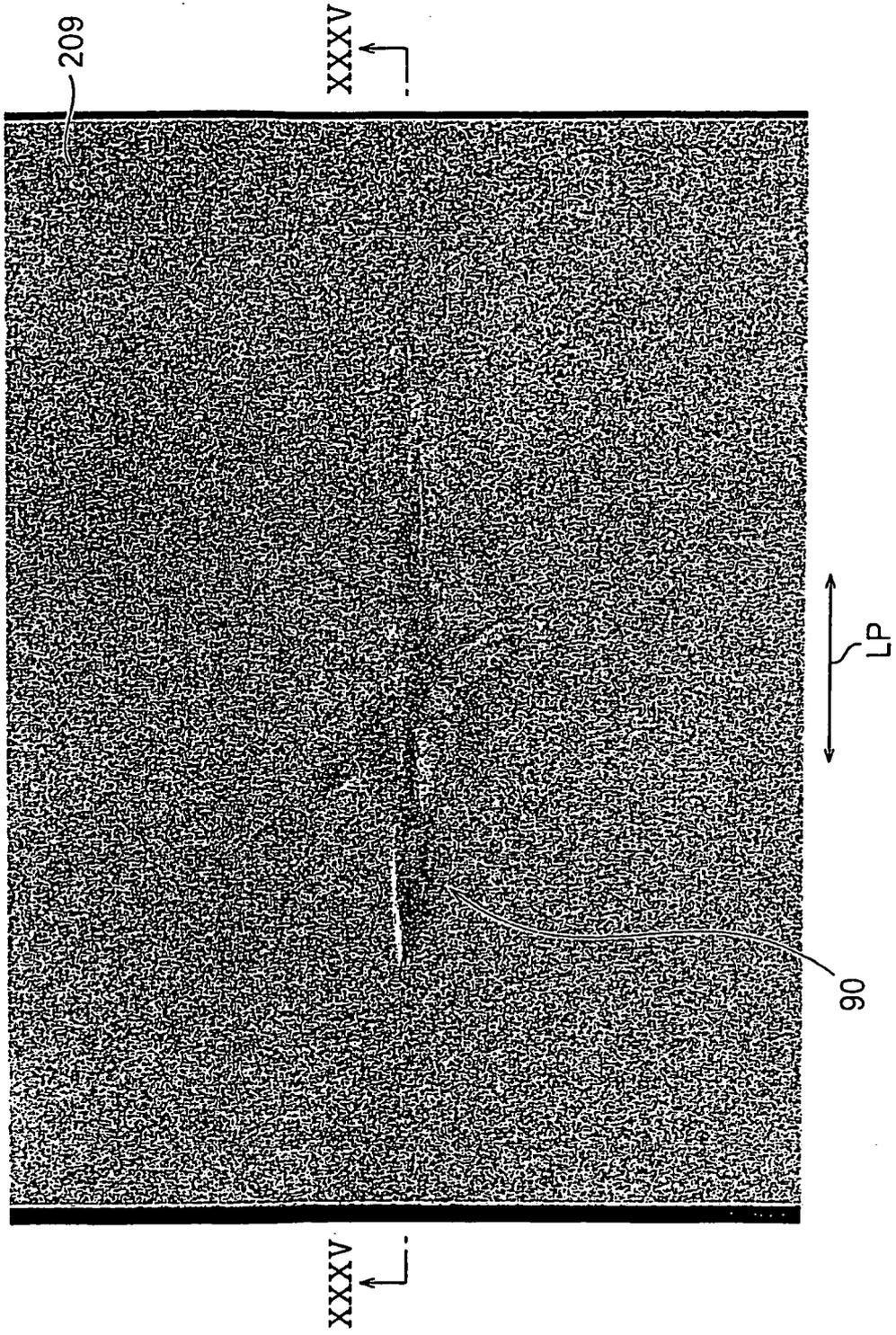
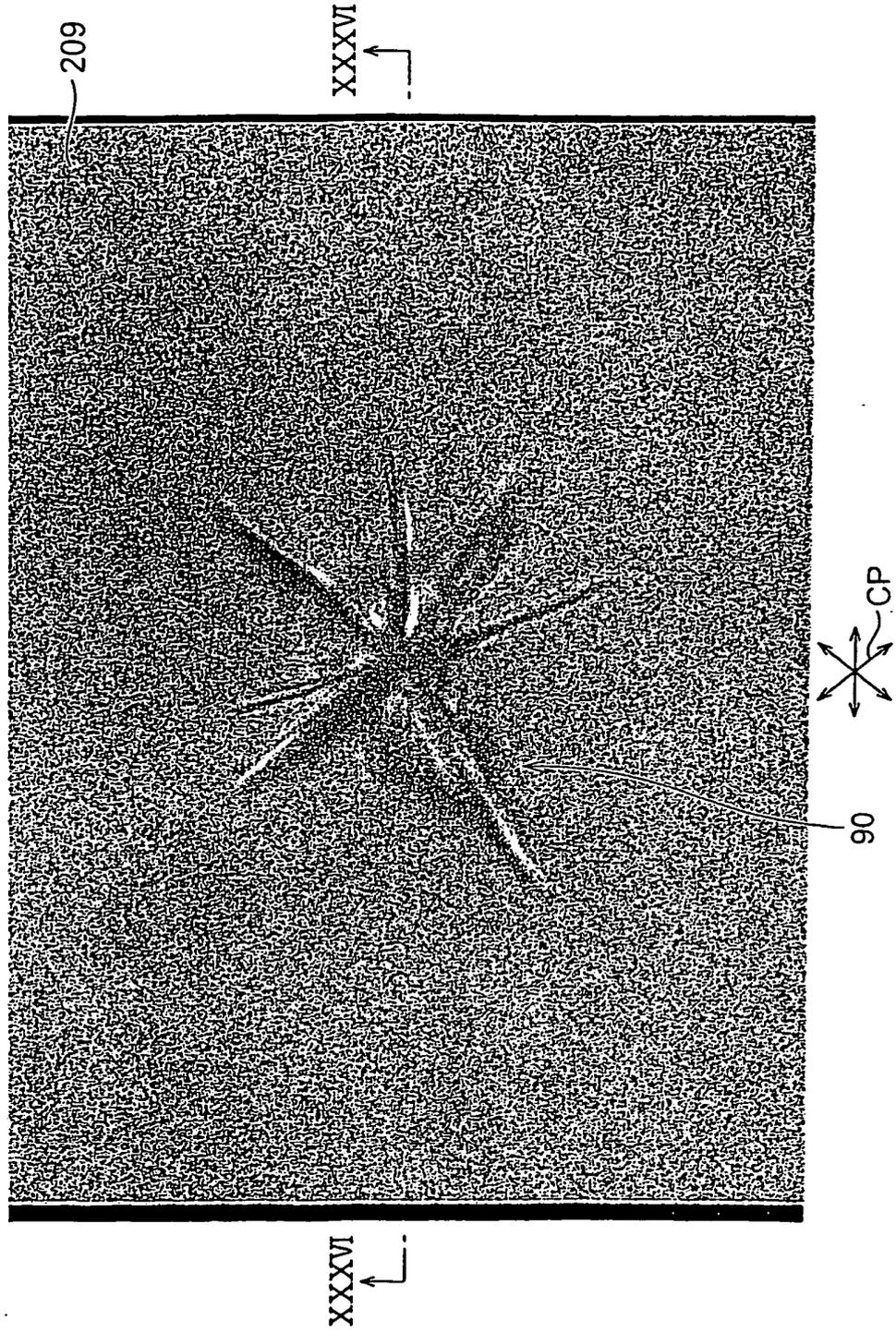


Fig.34



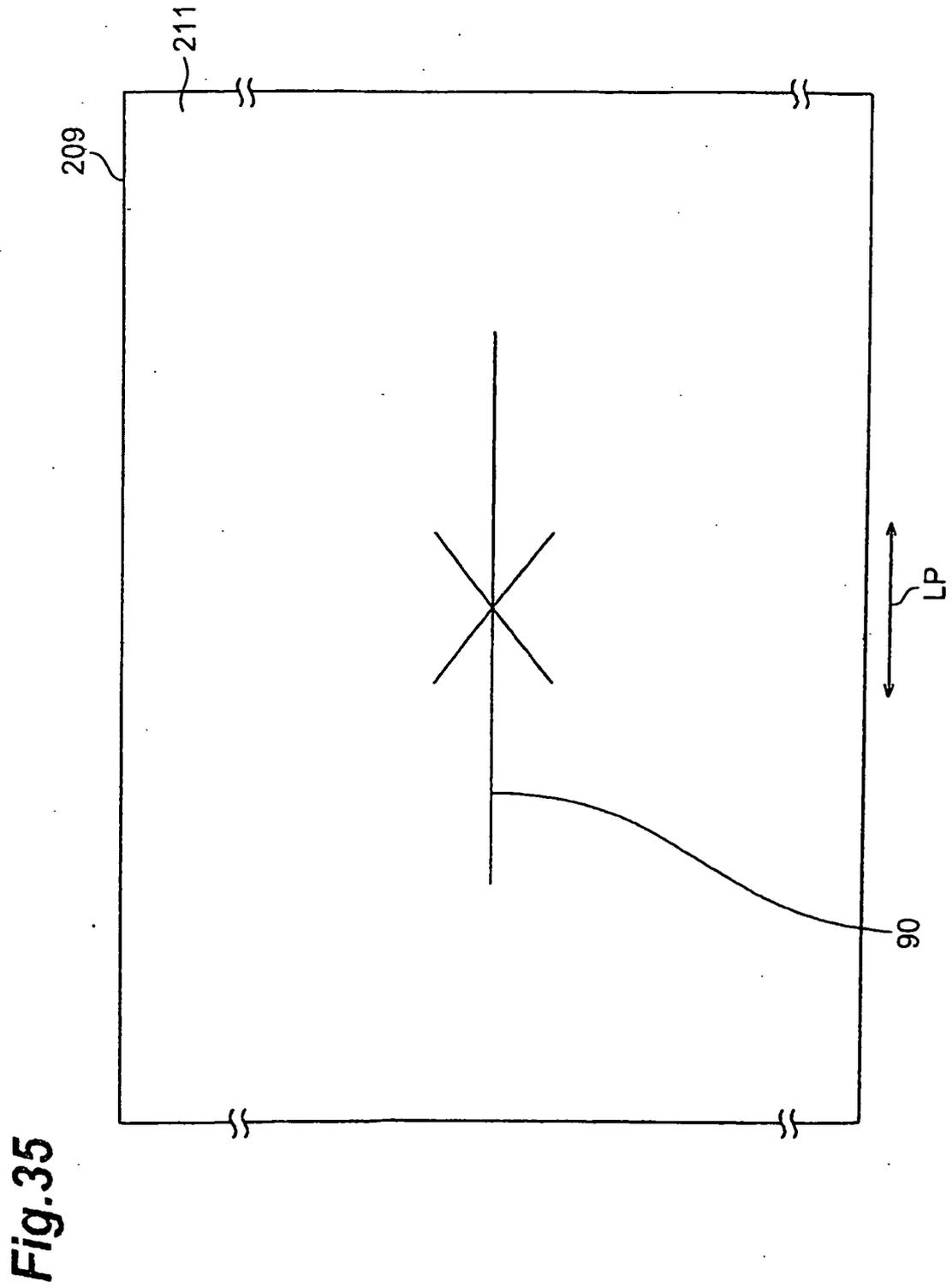


Fig. 35

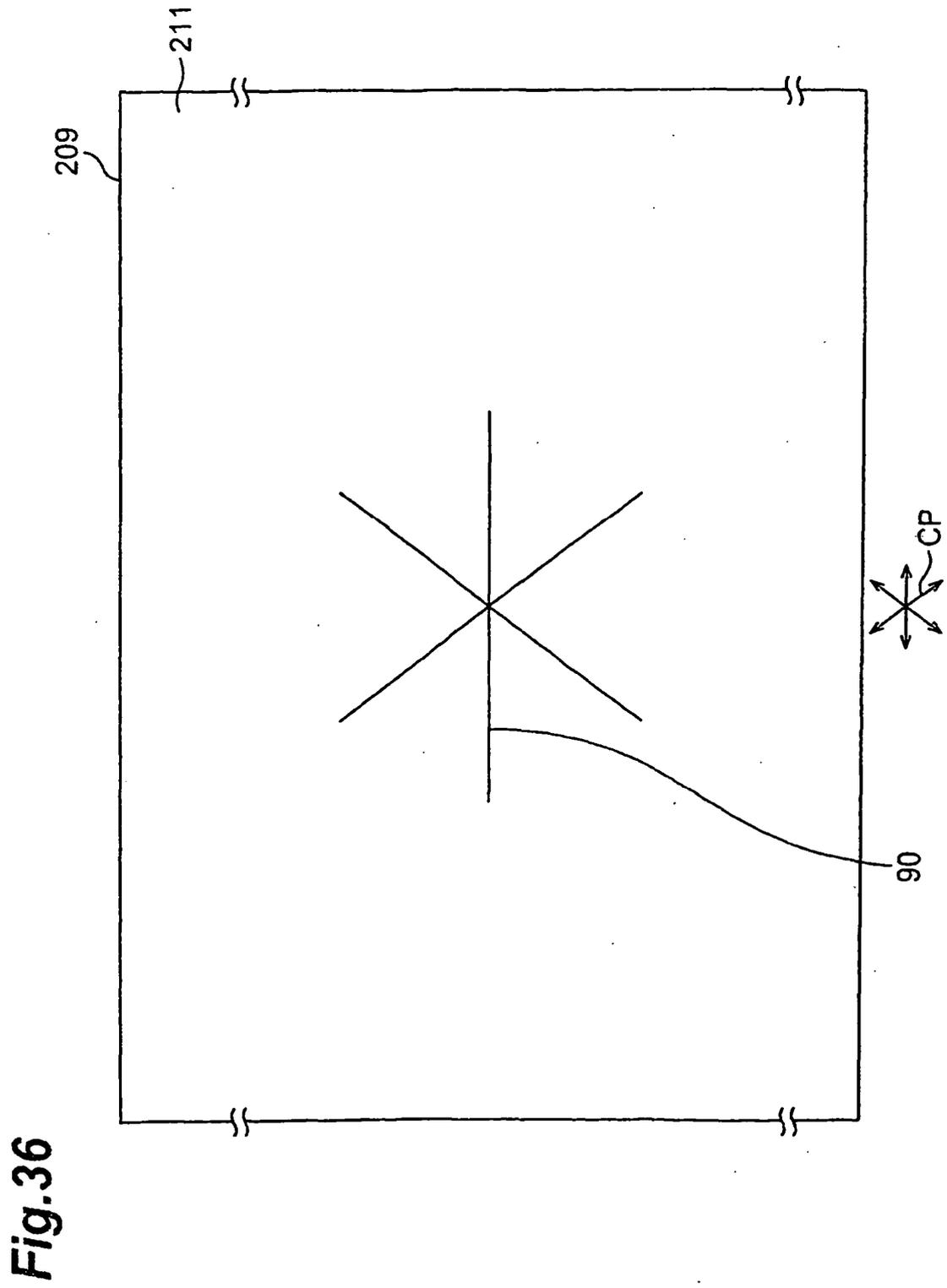


Fig.37

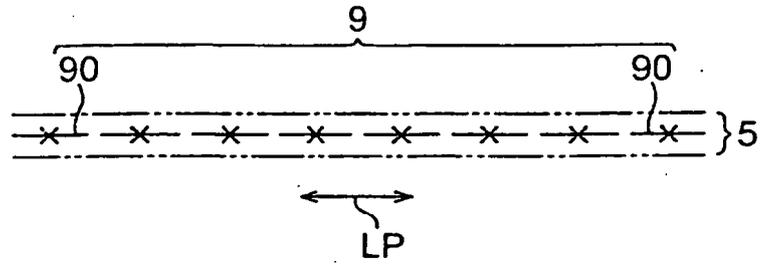


Fig.38

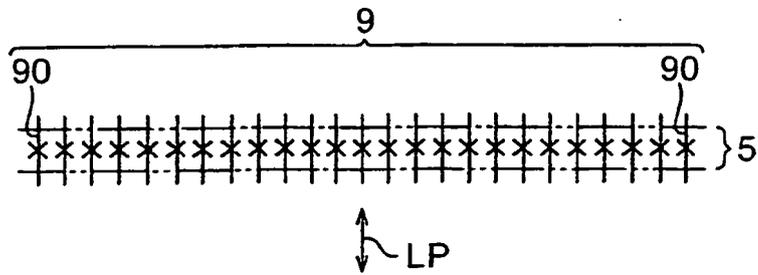


Fig.39

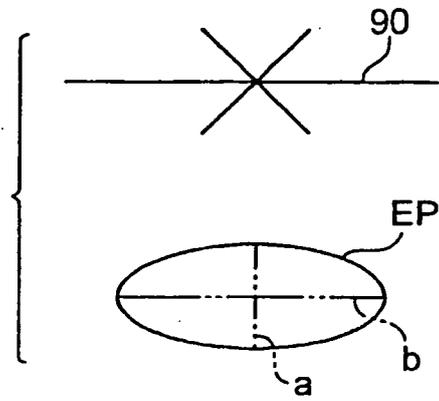


Fig.40

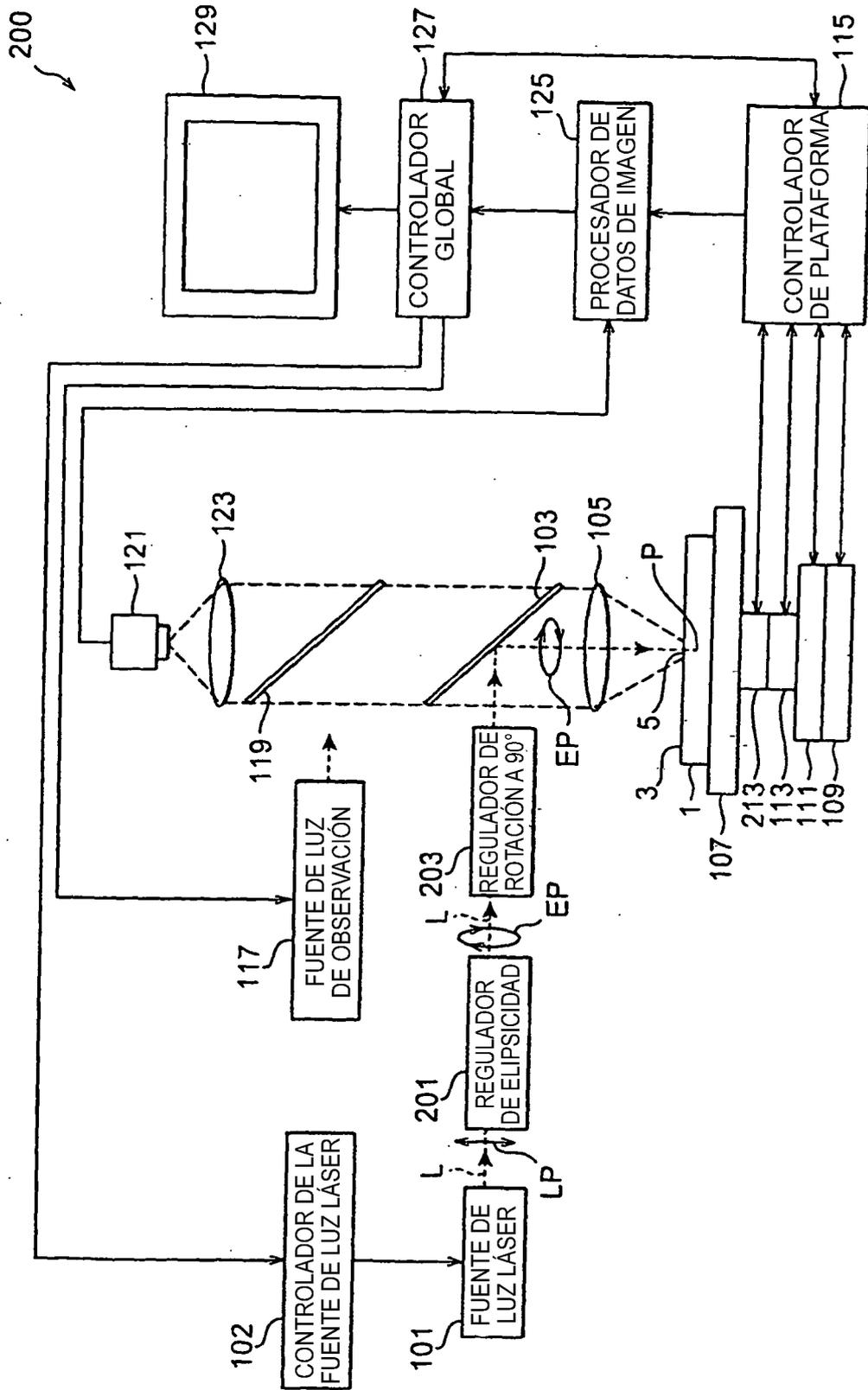


Fig.41

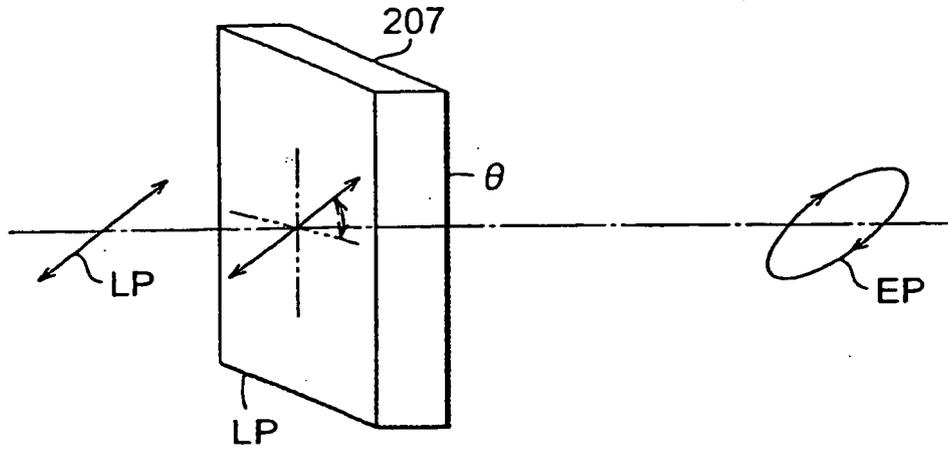


Fig.42

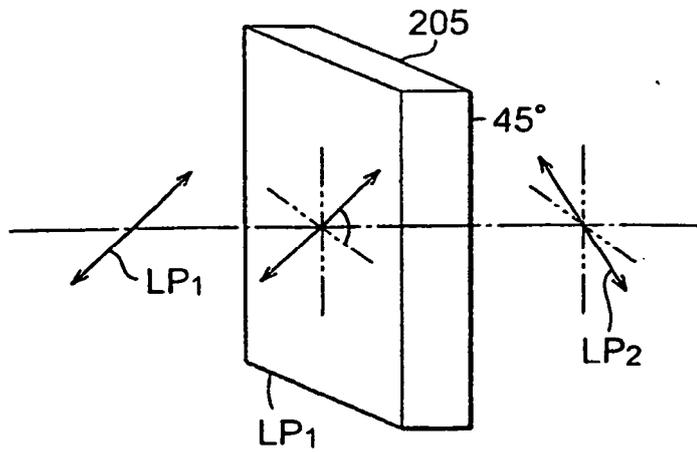


Fig.43

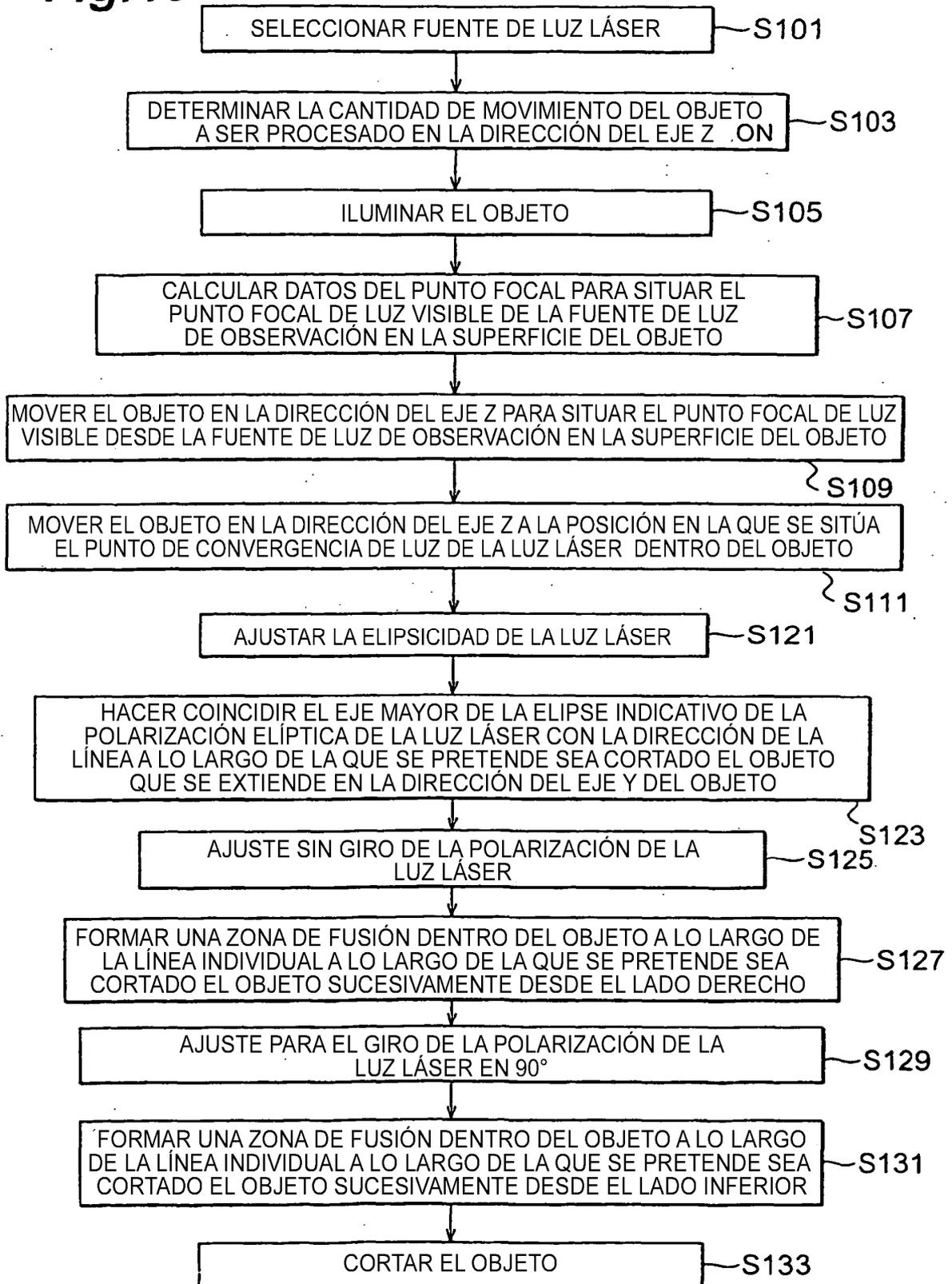


Fig.44

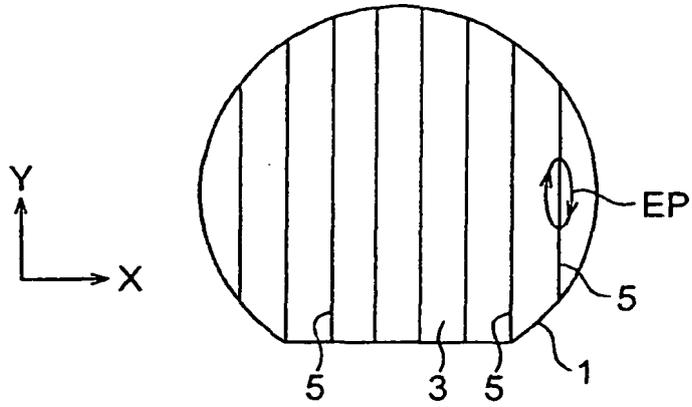


Fig.45

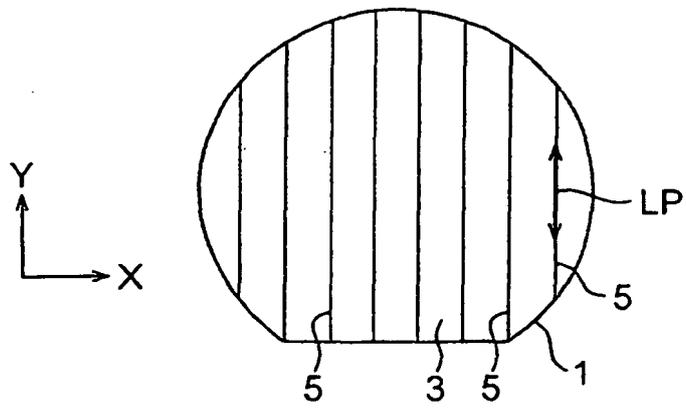


Fig.46

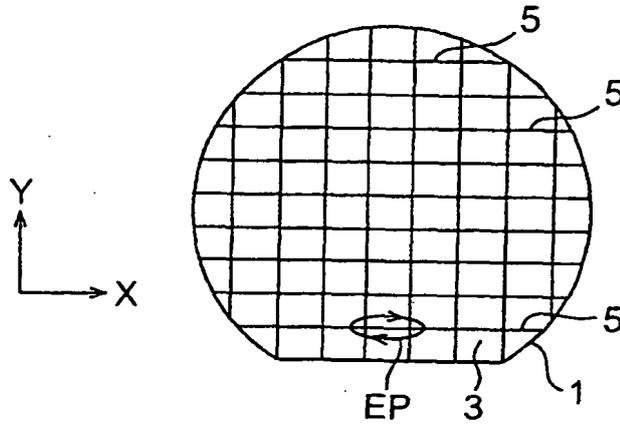


Fig.47

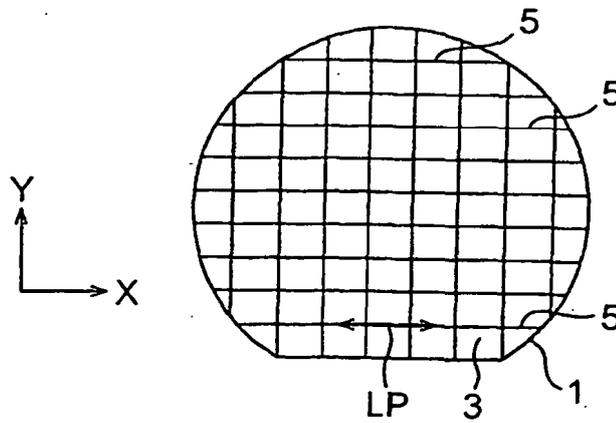


Fig.48

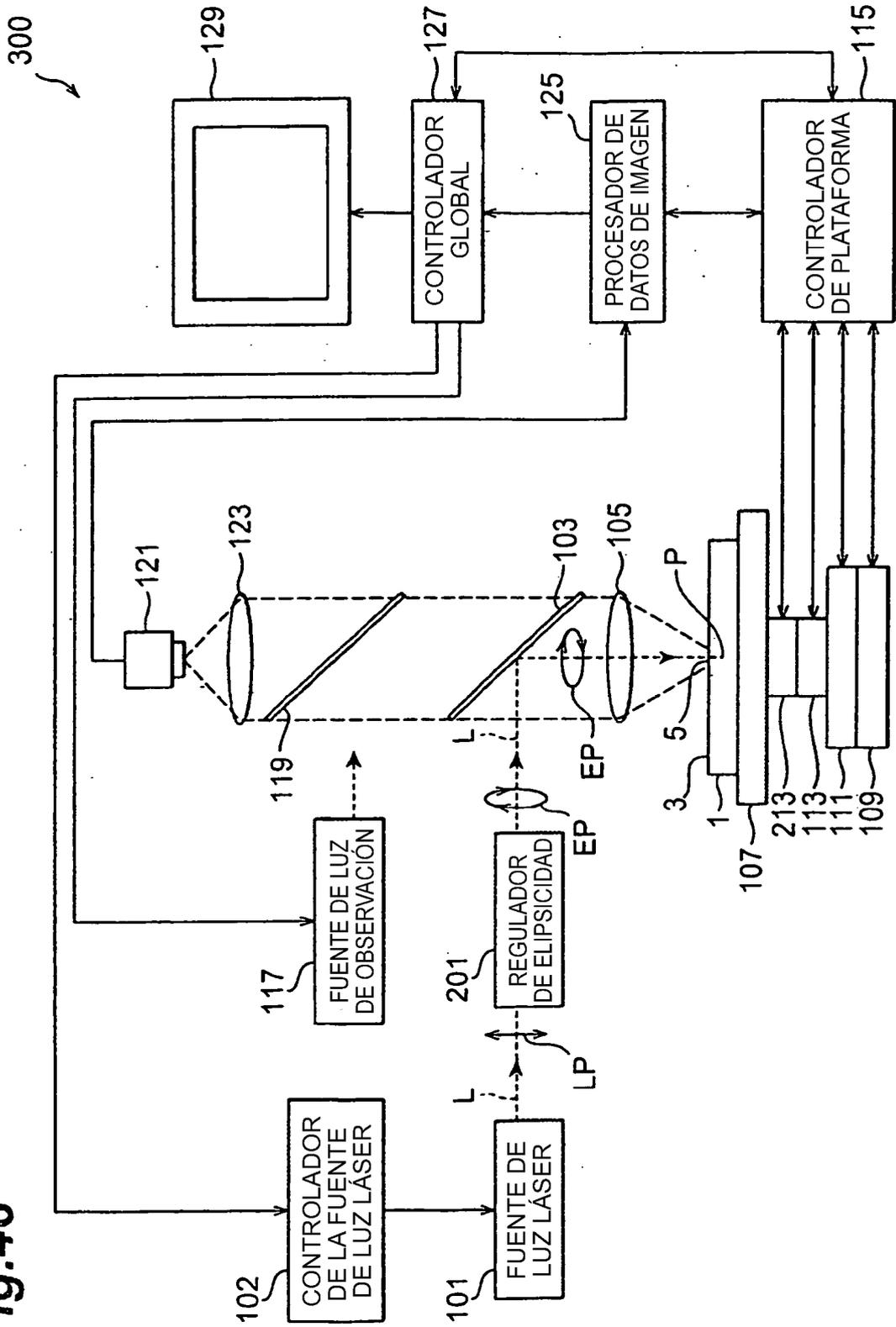


Fig.49

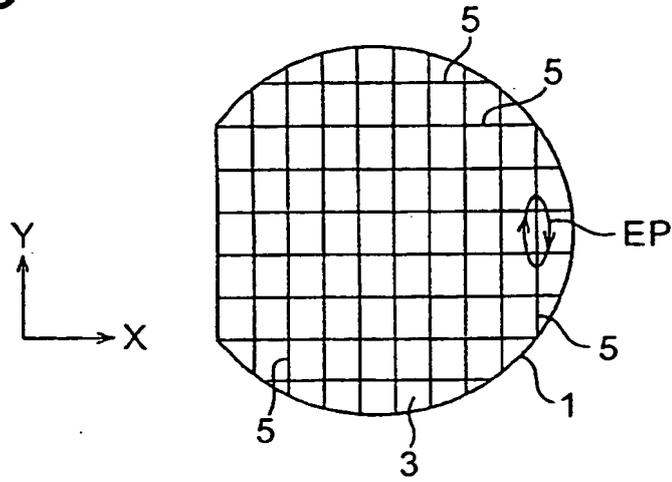


Fig.50

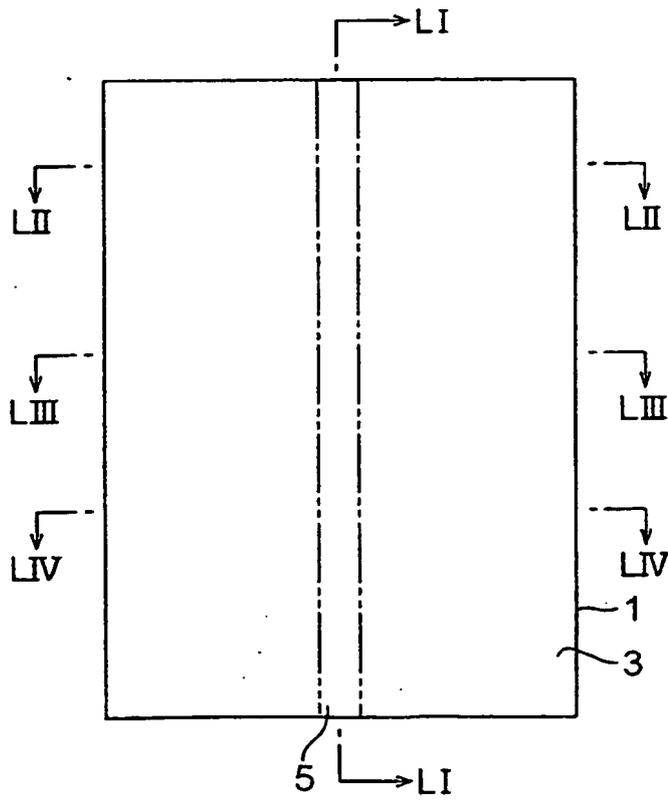


Fig.51

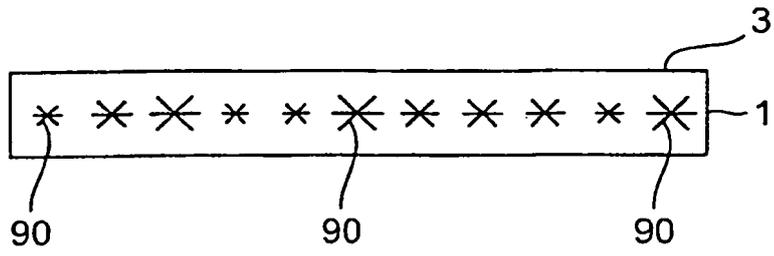


Fig.52

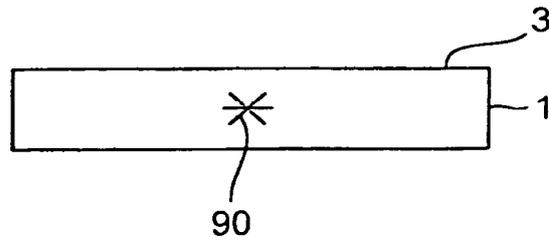


Fig.53

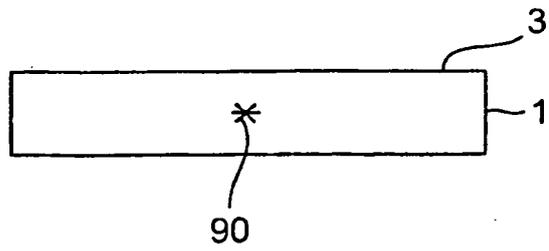


Fig.54

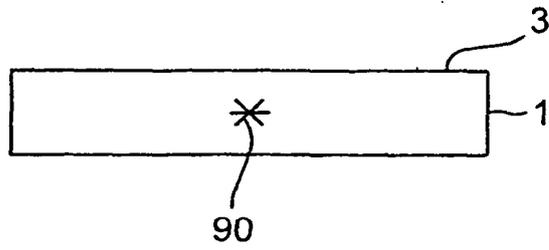


Fig.55

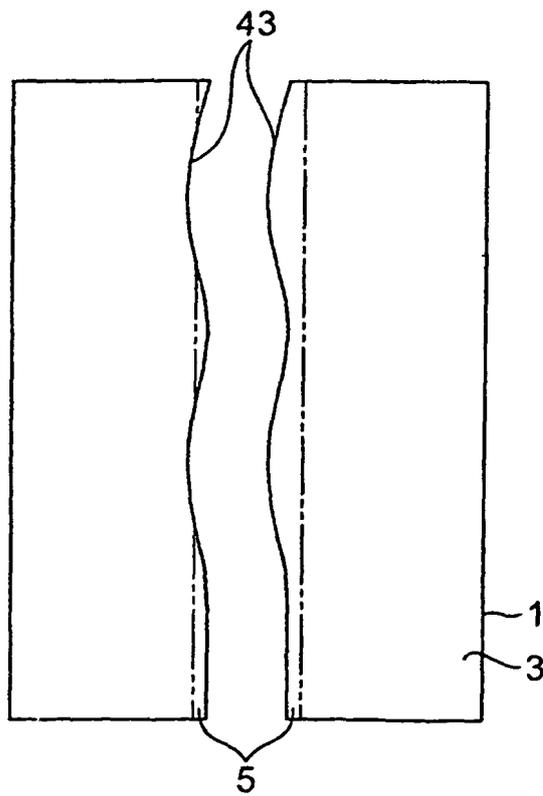


Fig.56

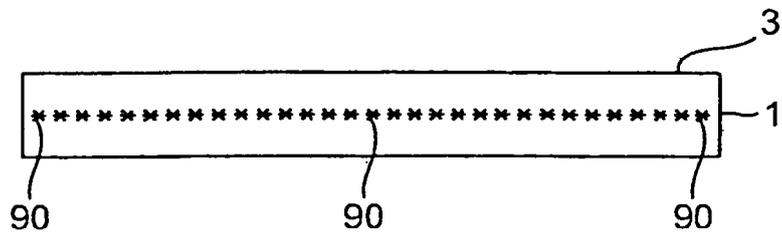


Fig.57

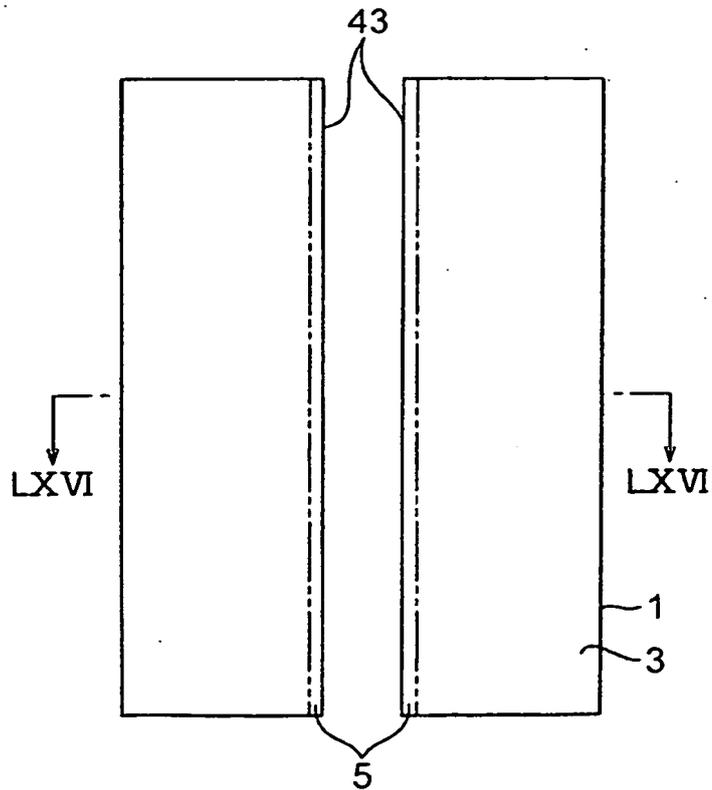


Fig.58

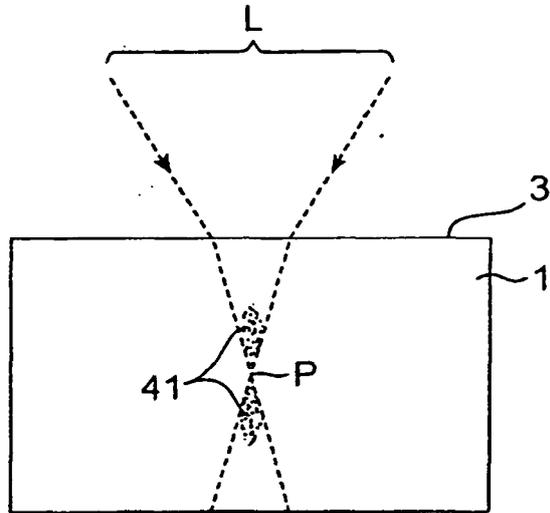


Fig.59

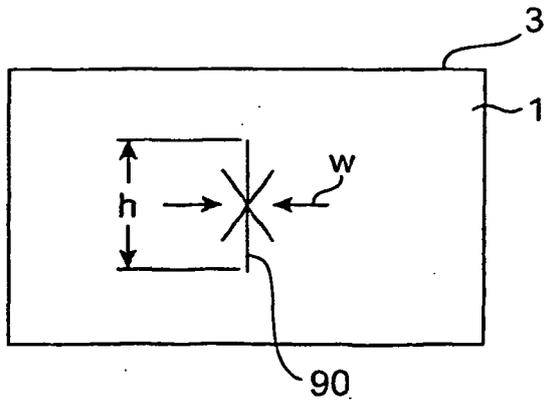


Fig.60

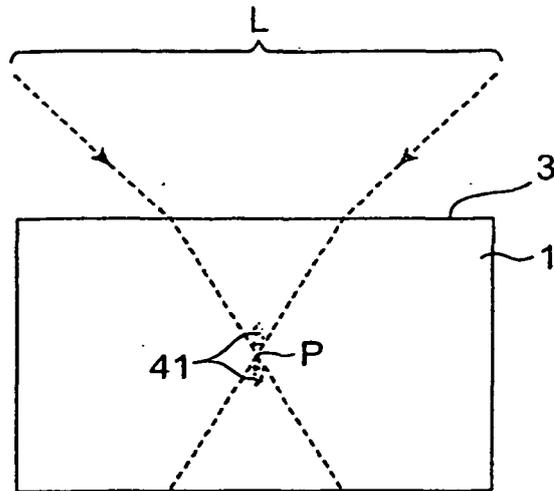


Fig.61

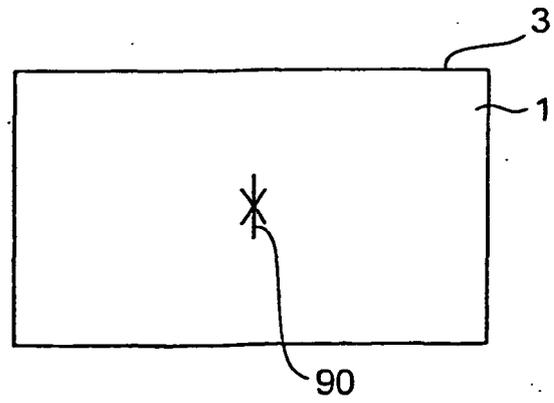


Fig.62

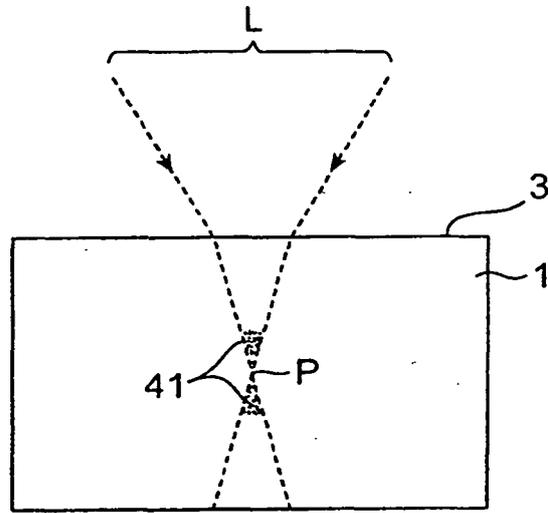


Fig.63

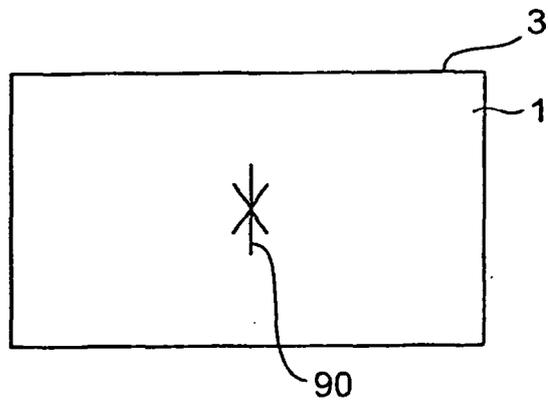


Fig.64

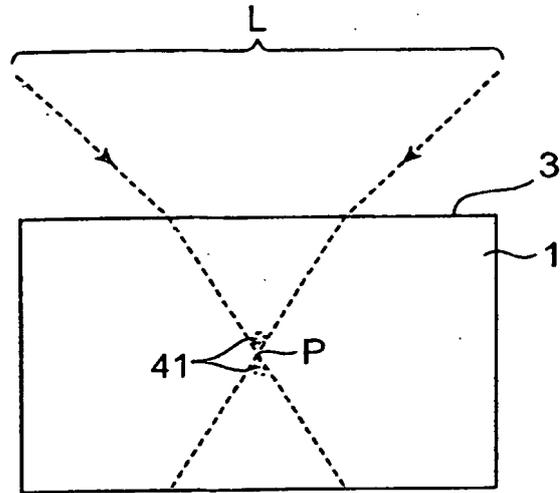


Fig.65

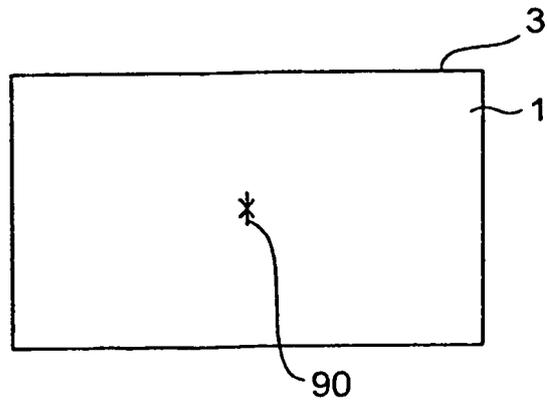


Fig.66

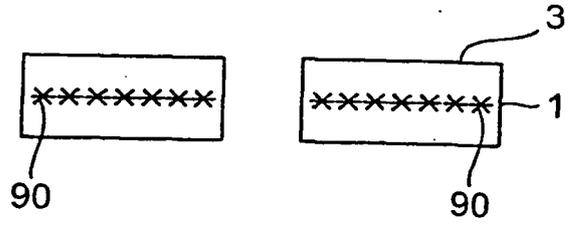


Fig.67

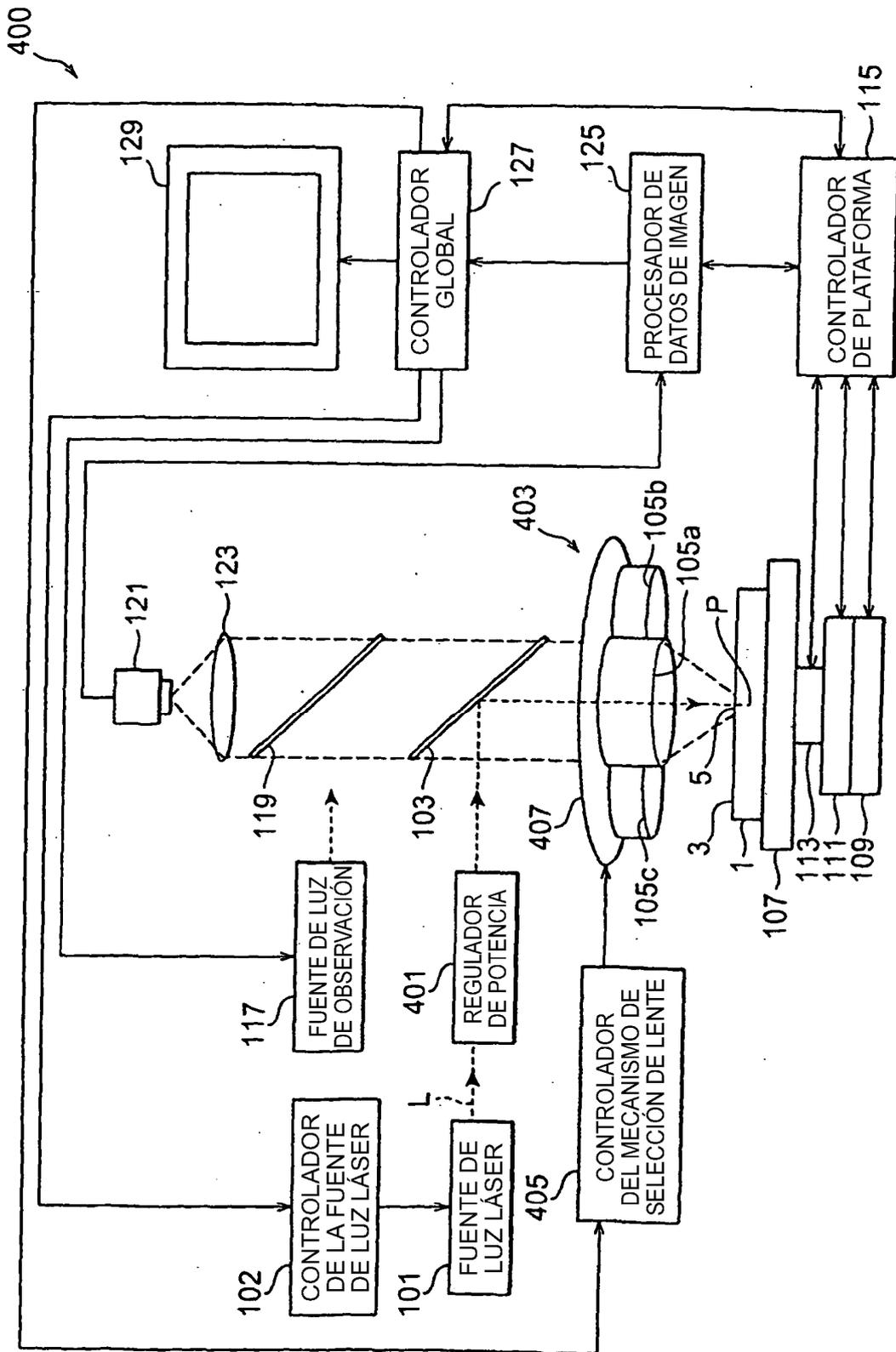


Fig. 68

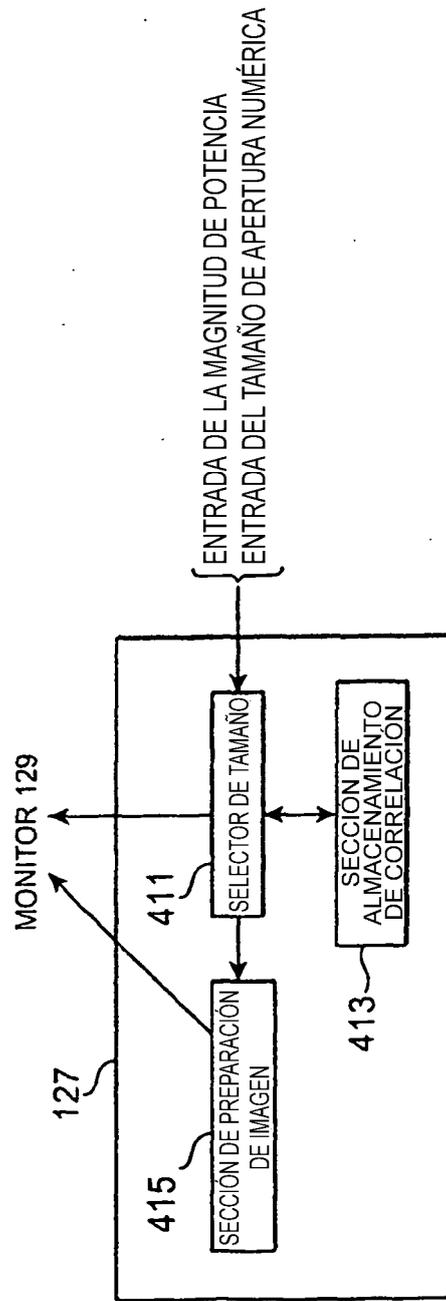


Fig.69

CONJUNTO		TAMAÑO (μm)
DENSIDAD DE POTENCIA (W/cm ²)	APERTURA NUMERICA	
$1,24 \times 10^{11}$	0,55	120
$1,49 \times 10^{11}$	0,55	150
$1,19 \times 10^{11}$	0,8	30
$1,49 \times 10^{11}$	0,8	60

Fig.70

APERTURA NUMERICA	TAMAÑO (μm)
0,55	150
0,8	60

Fig.71

DENSIDAD DE POTENCIA (W/cm ²)	TAMAÑO (μm)
1.19×10^{11}	30
$1,49 \times 10^{11}$	60
$1,79 \times 10^{11}$	80
$2,98 \times 10^{11}$	120
$5,96 \times 10^{11}$	180

Fig.72

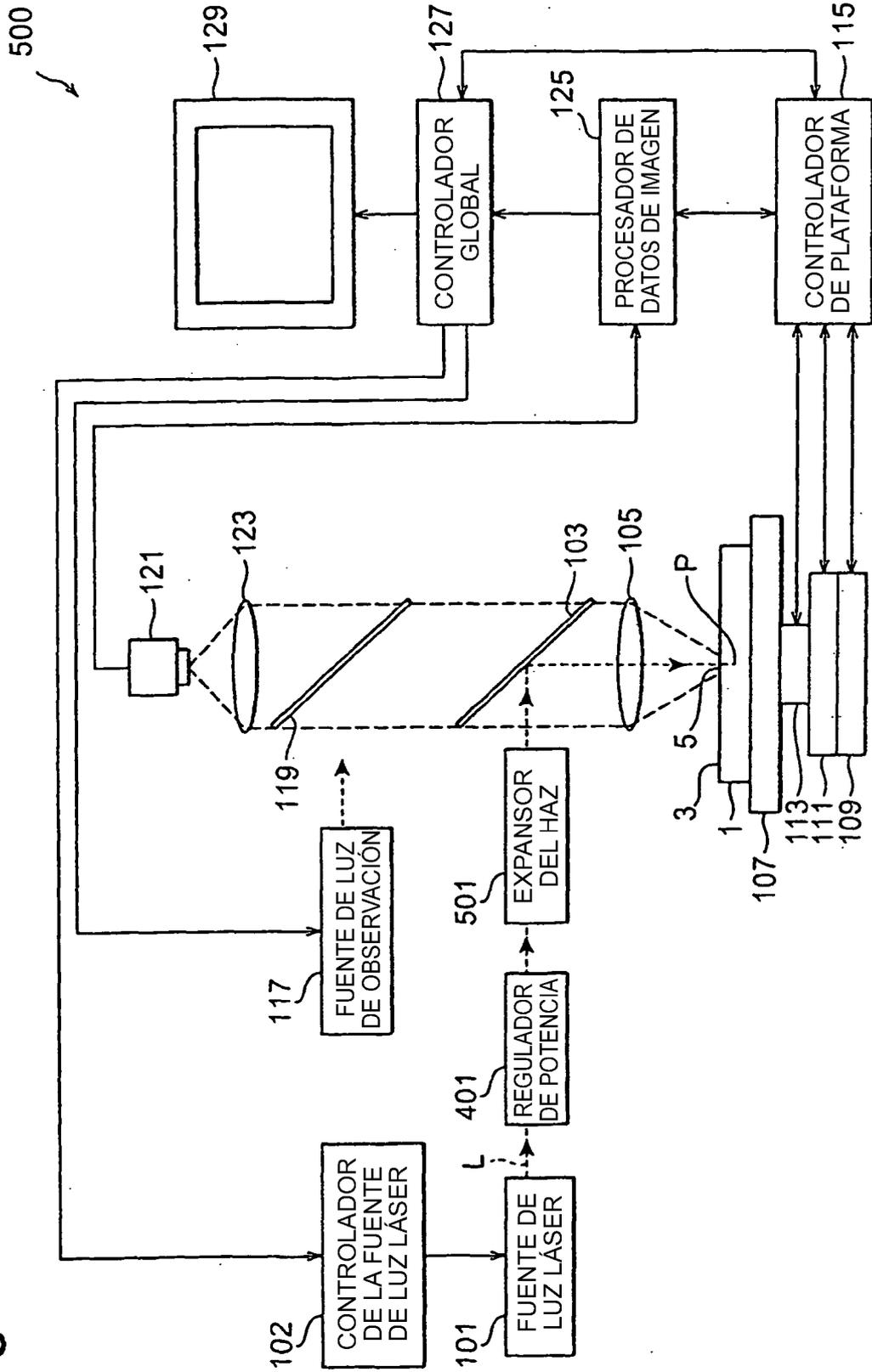


Fig.73

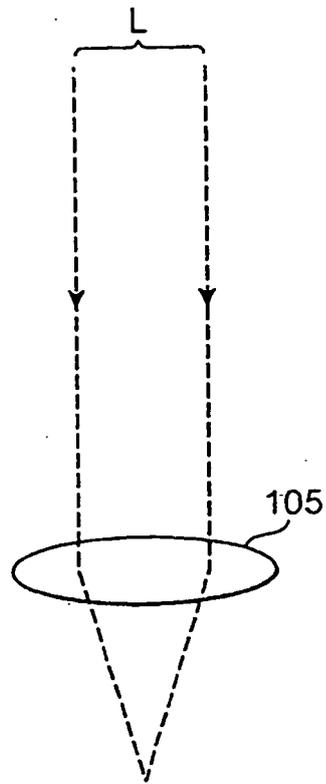


Fig.74

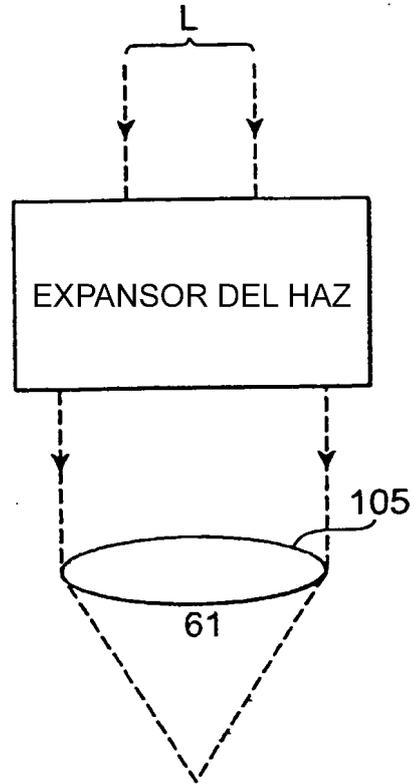


Fig.75

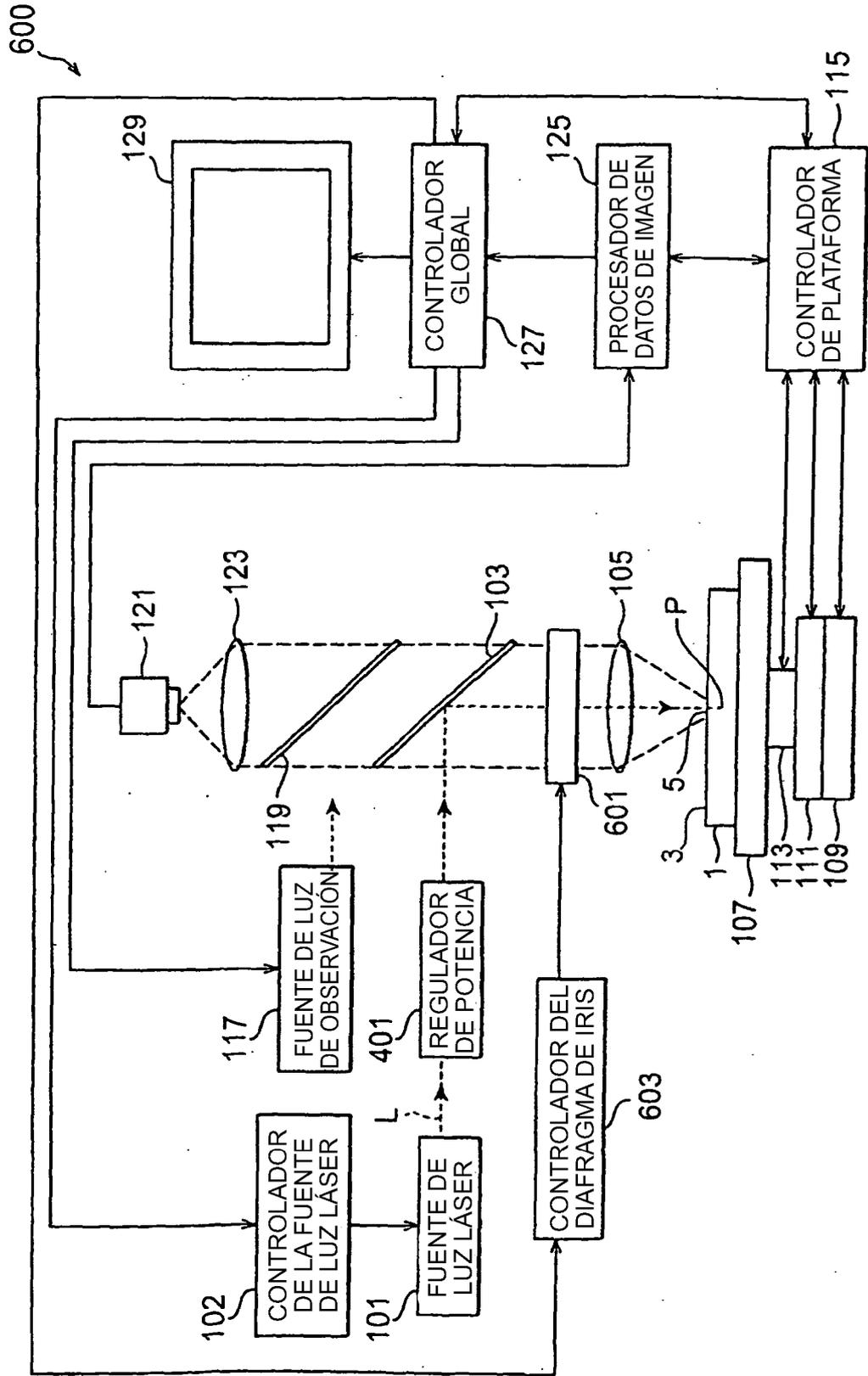


Fig.76

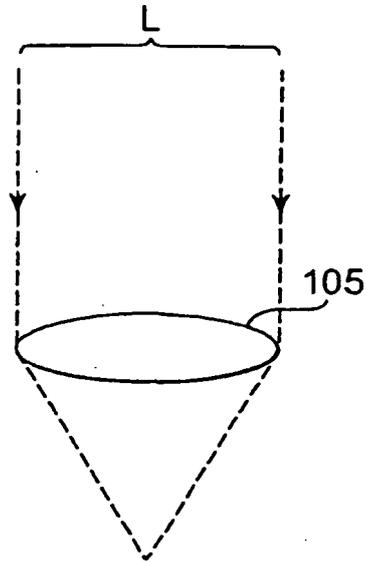


Fig.77

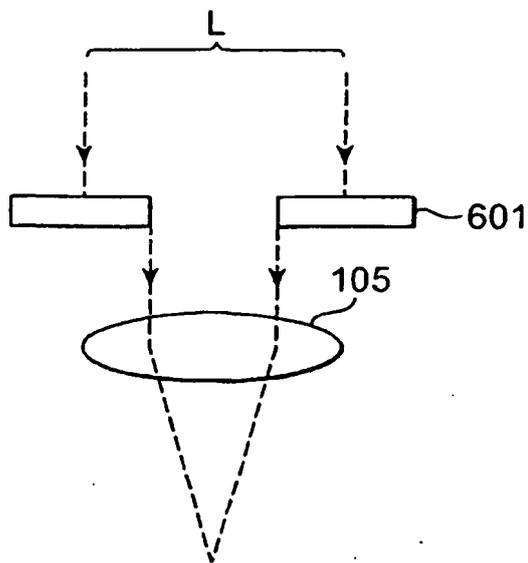


Fig.78

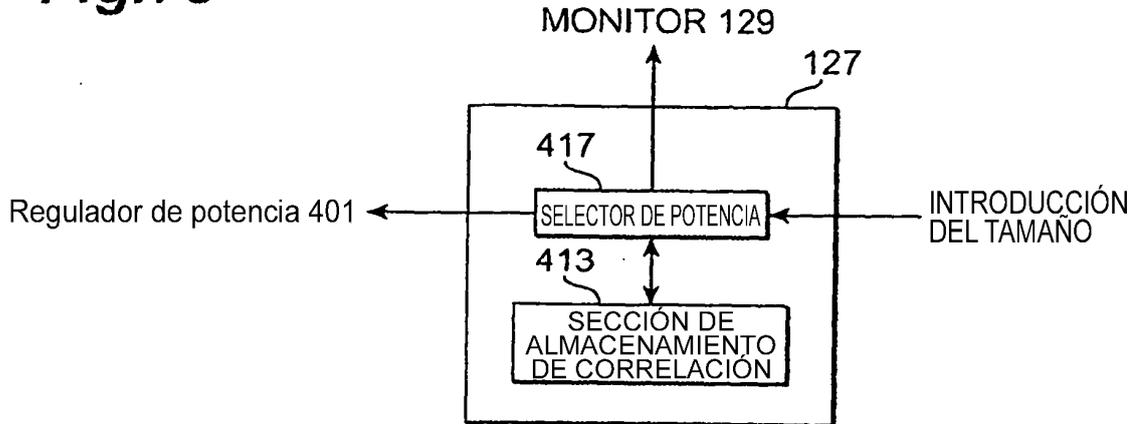


Fig.79

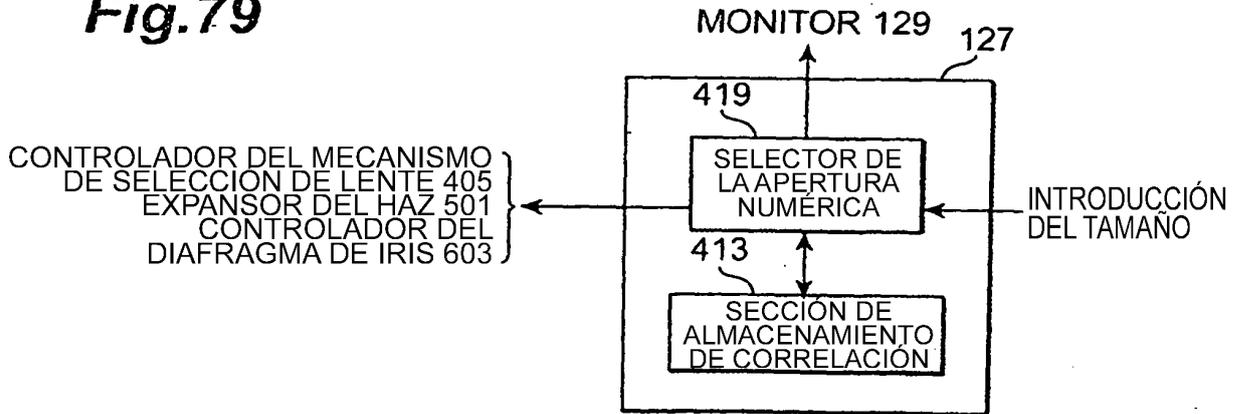


Fig.80

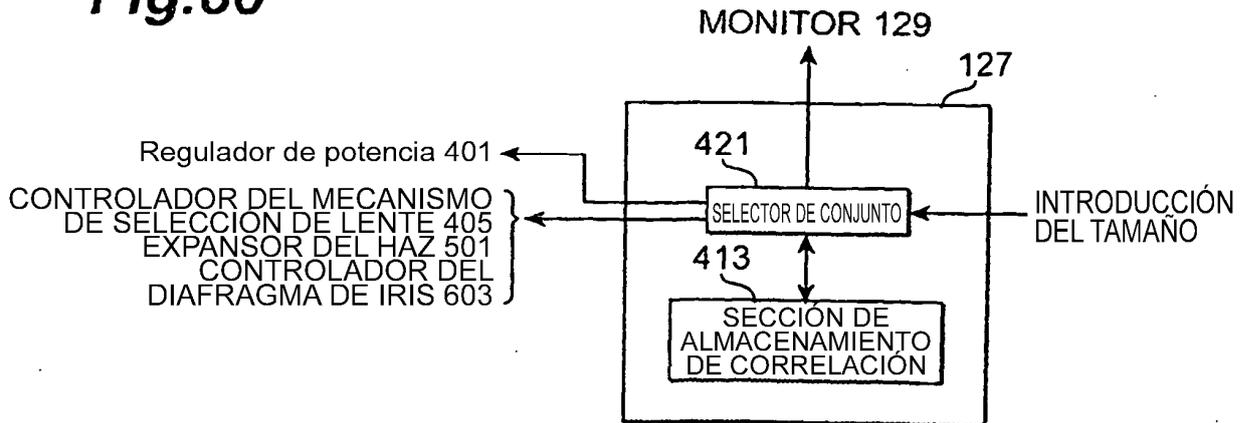


Fig.81

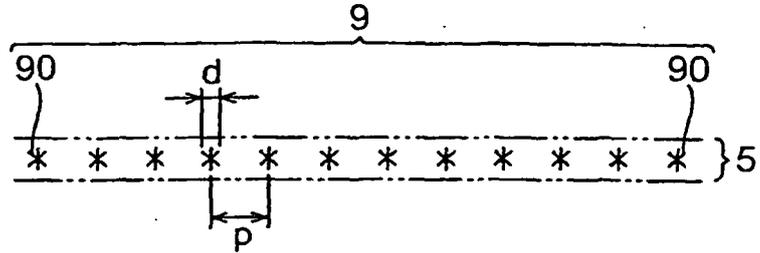


Fig.82

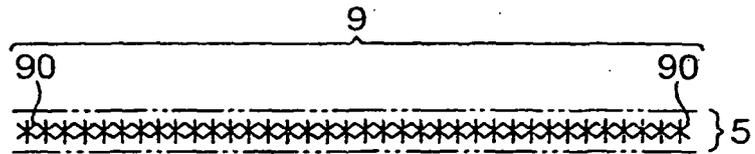


Fig.83

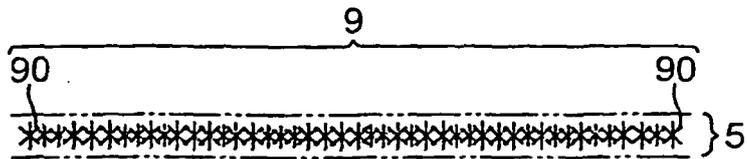


Fig.84

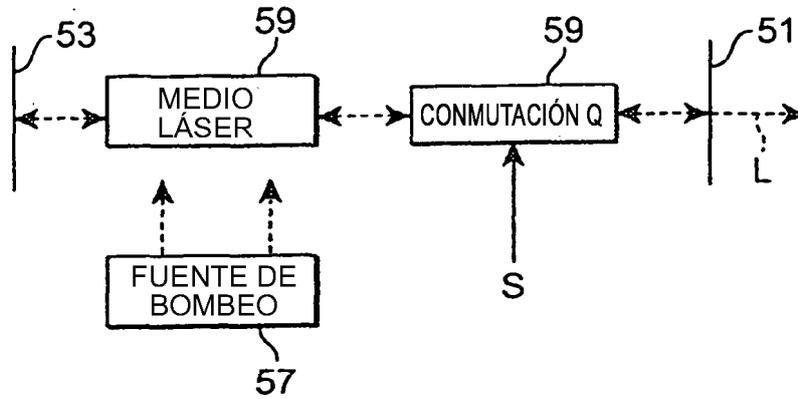


Fig.85

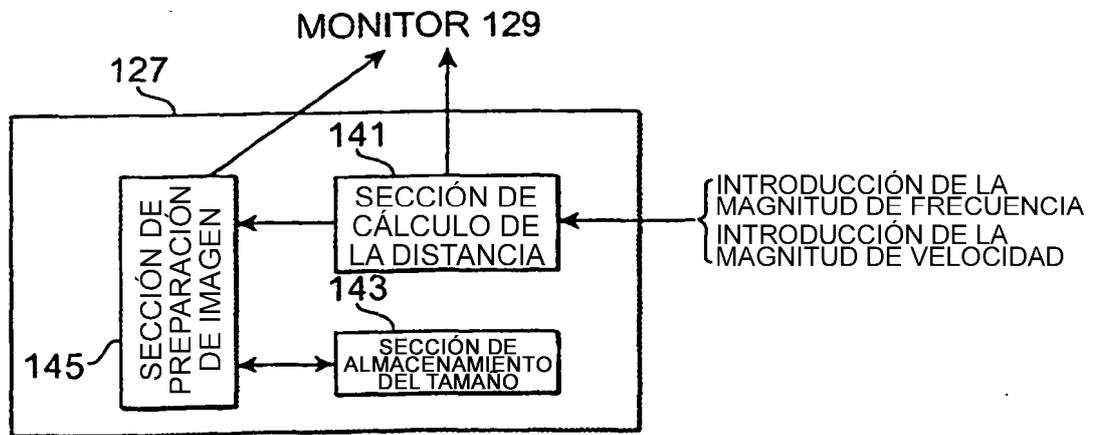


Fig.86

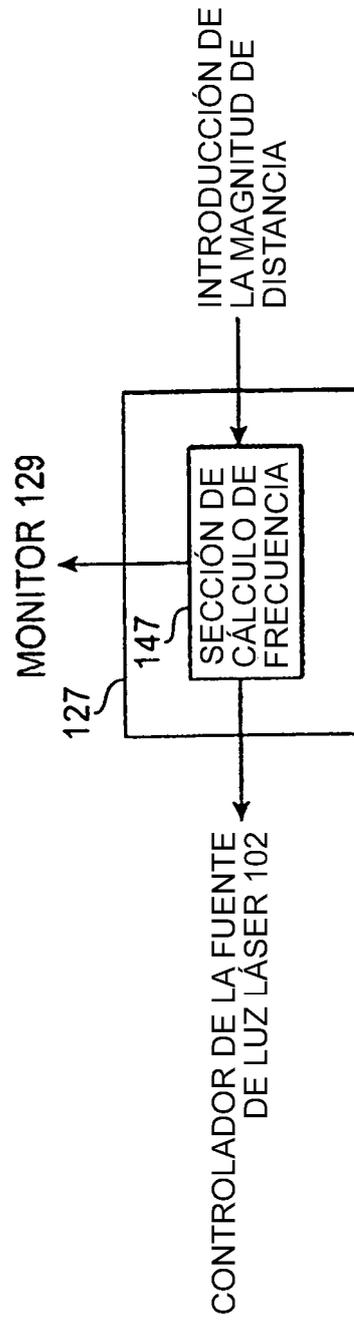


Fig.87

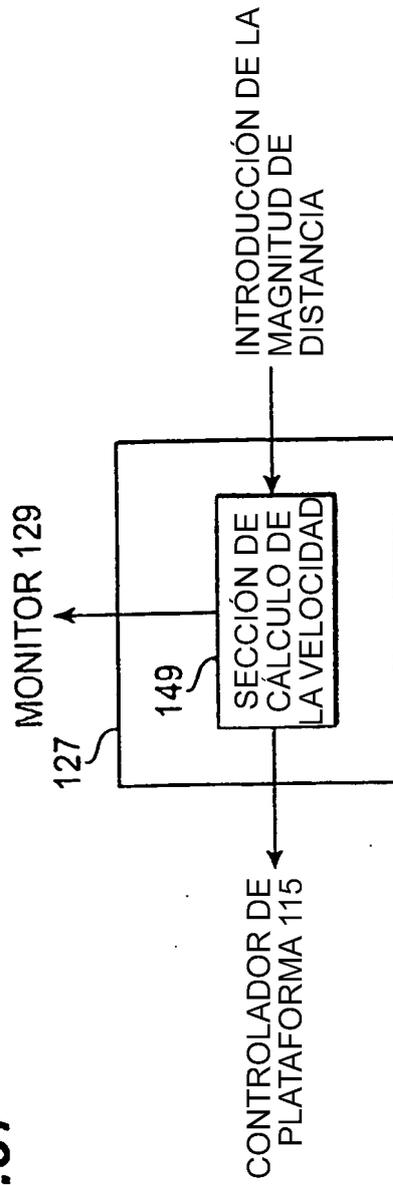


Fig.88

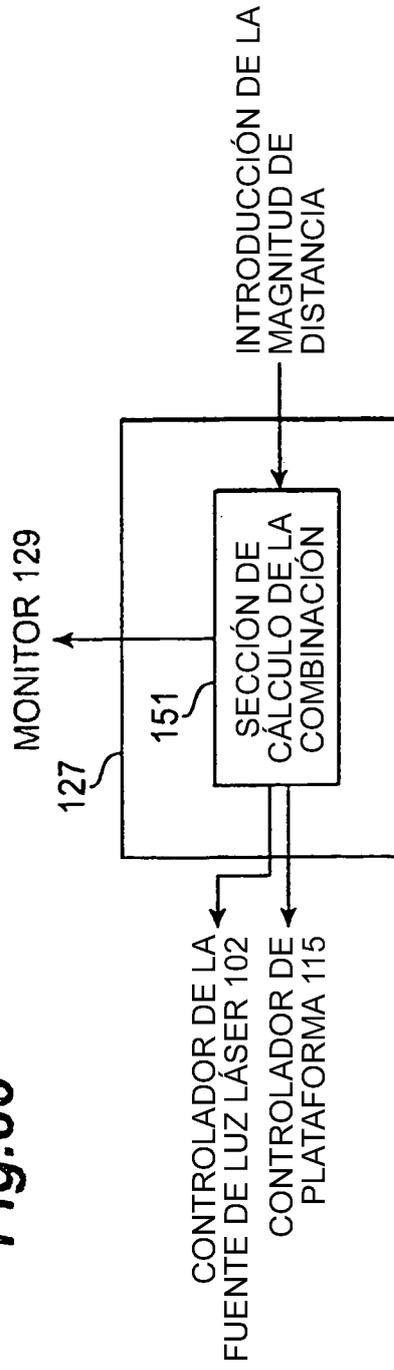


Fig.89

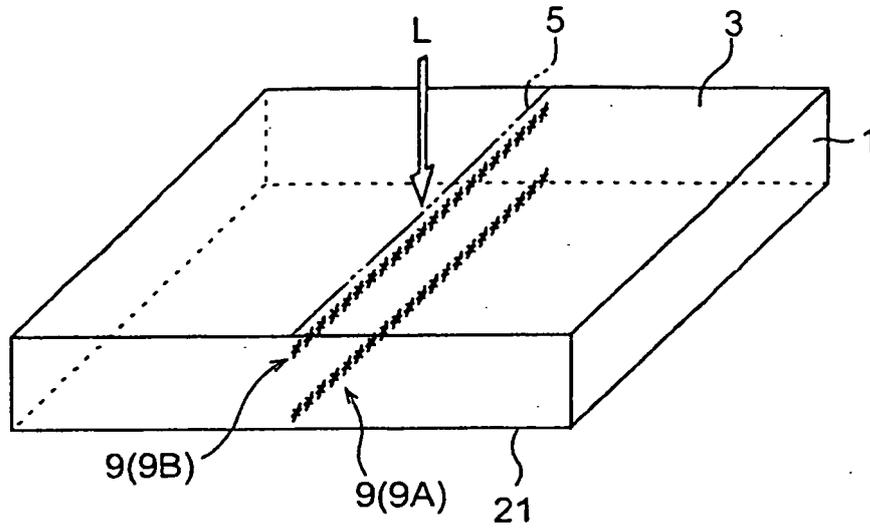


Fig.90

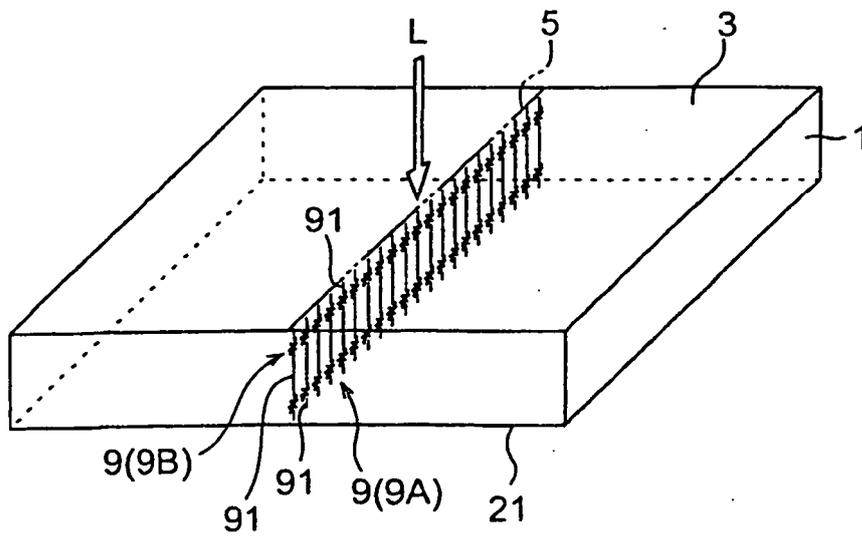


Fig.91

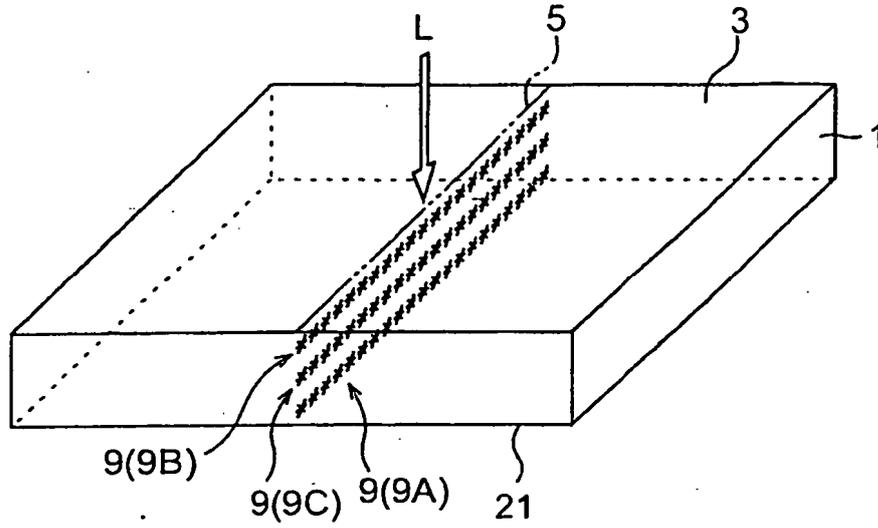


Fig.92

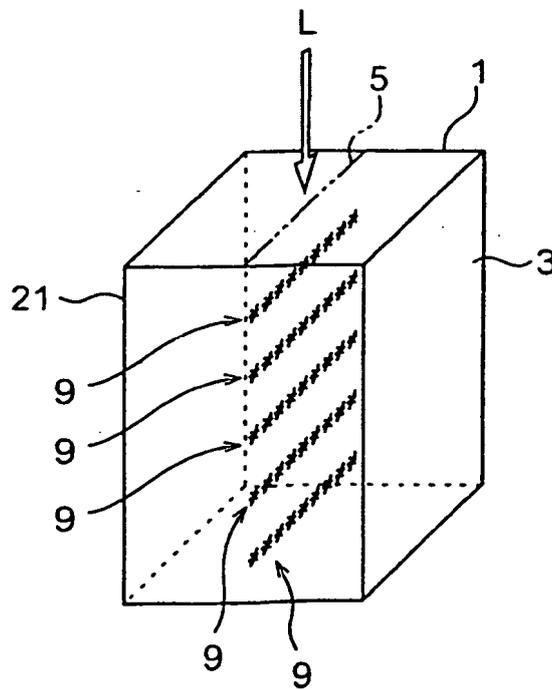


Fig.93

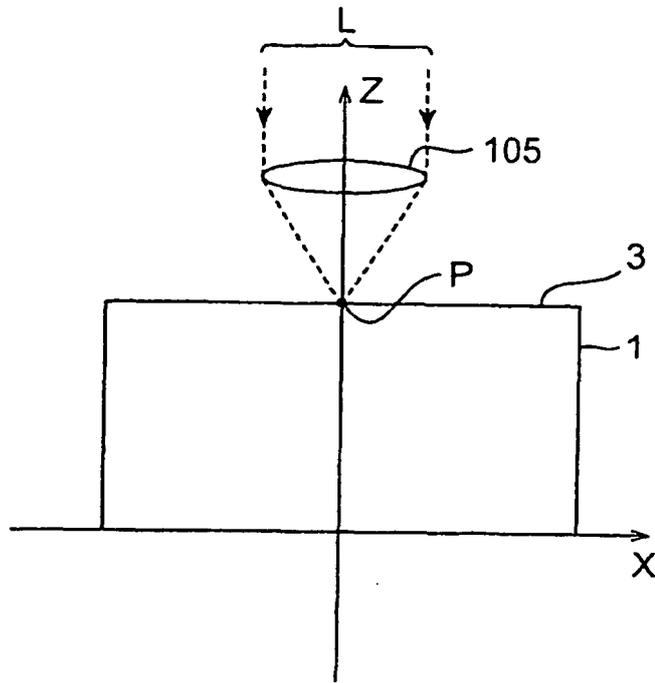


Fig.94

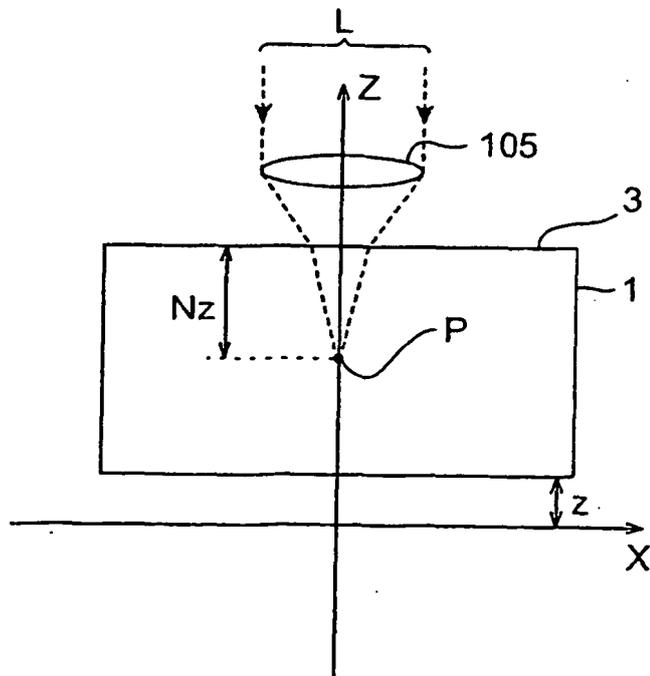


Fig.95

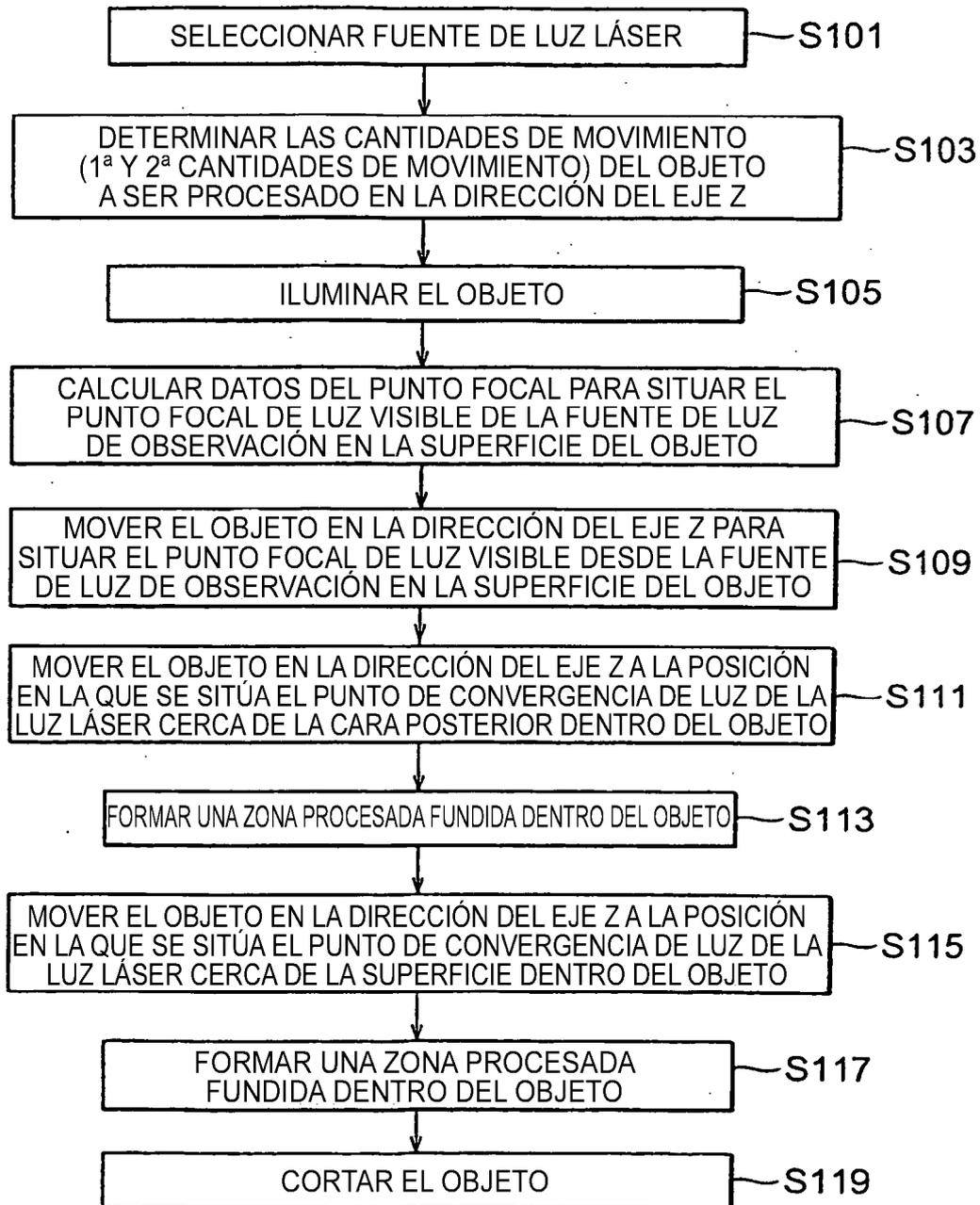


Fig.96

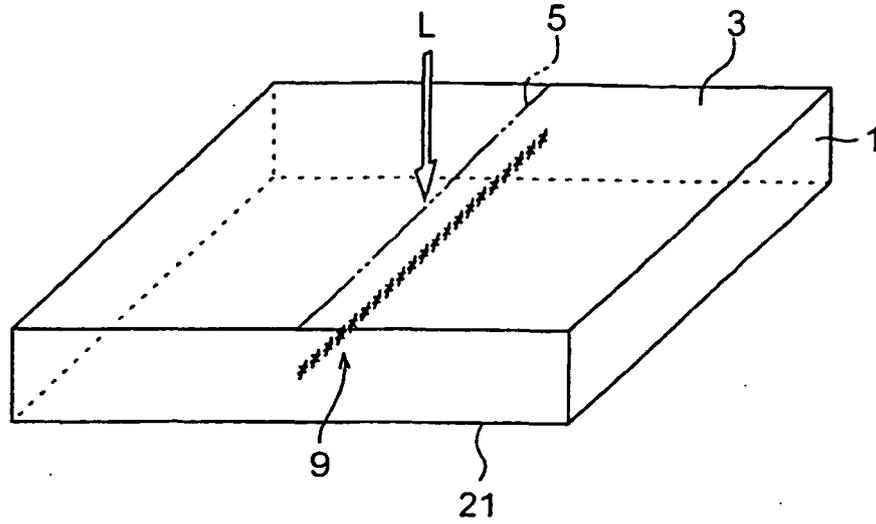


Fig.97

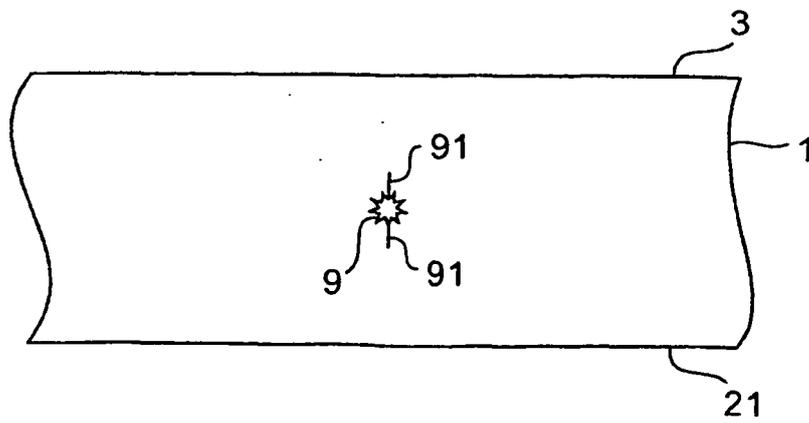


Fig.98

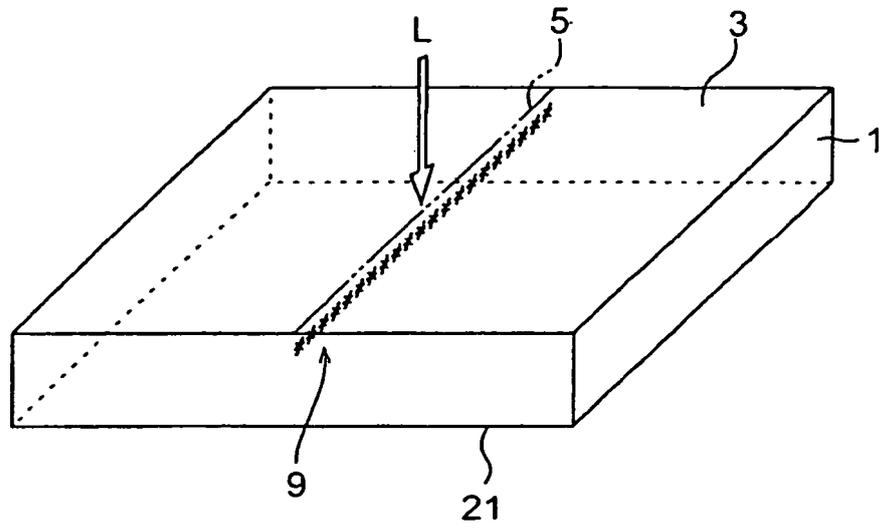


Fig.99

