

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 956**

51 Int. Cl.:  
**B23K 26/00** (2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **01965620 .6**
- 96 Fecha de presentación: **13.09.2001**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1338371**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.08.2003**

54 Título: **Procedimiento de mecanizado por haz de láser**

30 Prioridad:  
**13.09.2000 JP 2000278306**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.06.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.06.2012**

73 Titular/es:  
**HAMAMATSU PHOTONICS K. K.  
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 2 383 956 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento de mecanizado por haz de láser

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento de corte de un sustrato de material semiconductor, un sustrato de material piezoeléctrico o un sustrato de vidrio por procesamiento láser, de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 (véase, por ejemplo, el documento JP4/111 800 A).

**Antecedentes de la técnica**

- 10 Una de las aplicaciones del láser es el corte. Un proceso de corte típico efectuado por láser es tal como sigue: Por ejemplo, una parte que va a cortarse en un objeto que va a procesarse, tal como una oblea de semiconductor o un sustrato de vidrio, se irradia con una luz láser que tiene una longitud de onda que el objeto absorbe, de tal modo que tras el calentamiento progresa la fusión, debido a la absorción de luz láser desde la superficie hasta la cara posterior  
15 del objeto que va a procesarse at la parte que va a cortarse, mediante lo cual el objeto que va a procesarse se corta. No obstante, el presente procedimiento también funde los alrededores de la región que va a volverse la parte de corte en la superficie del objeto que va a cortarse. Por lo tanto, en el caso en el que el objeto que va a procesarse es una oblea de semiconductor, podrían fundirse los dispositivos de semiconductor que se encuentran cerca de la región que se menciona anteriormente entre las que se forman en la superficie de la oblea de semiconductor.

- 20 Ejemplos conocidos de procedimientos que pueden evitar que la superficie del objeto que va a procesarse se funda son procedimientos de corte basados en láser que se dan a conocer en la solicitud de patente de Japón abierta a inspección pública con n.º 2000-219528 y la solicitud de patente de Japón abierta a inspección pública con n.º 2000-15467. En los procedimientos de corte de estas publicaciones, la parte que va a cortarse en el objeto que va a procesarse se calienta con luz láser, y a continuación se enfría el objeto, con el fin de generar un choque térmico en la parte que va a cortarse en el objeto, mediante el cual se corta el objeto.

- 30 La patente de Japón con n.º JP 04 111800 A describe un proceso de trabajo de corte de materiales transparentes, en el que un haz de alta energía se enfoca mediante un sistema óptico en un punto sobre o bien el lado frontal o bien el lado posterior del material. A medida que el punto de enfoque se mueve a lo largo del material, se forma una fisura consecutiva de tal modo que puede llevarse a cabo el trabajo de corte sobre el material.

- 35 La publicación de patente internacional con n.º WO 97 07927 A1 describe un sistema para romper grandes láminas de un material frágil en unas láminas más pequeñas usando al menos un láser. La lámina se mella o se ranura por un lado para formar un punto de iniciación de fisuras y un láser de calentamiento se mueve a lo largo de la lámina para crear unos esfuerzos de expansión térmica que dan como resultado una fisura agujereada en la lámina. La lámina puede romperse a continuación, aplicando un momento de flexión bajo la fisura agujereada.

- 40 La patente de Japón con n.º JP 11 138896 A describe un marcador láser y un procedimiento de marcado en el que dos haces secundarios de láser se enfocan en un área microscópica en el interior de un elemento que va a mecanizarse. La absorción de la luz láser produce un daño óptico o ruptura del aislamiento óptico en el interior del elemento y da como resultado un marcado que puede verse desde el exterior.

- 45 La patente de Alemania con n.º DE 196 46 332 A1 describe un dispositivo de alteración óptica de pieza a máquina en el que un haz de láser pulsado se usa para alterar las propiedades ópticas de la superficie y/o el interior de la pieza a máquina. Se absorbe energía en el punto de enfoque de láser y se generan unas microfisuras que actúan para marcar la pieza a máquina.

- 50 La patente de los Estados Unidos con n.º US-A-4 769 310 describe un procedimiento de marcado por láser de materiales de cerámica que contienen al menos un aditivo sensible a la radiación. Un láser se aplica a, o se enfoca sobre, la superficie del material, lo que induce un cambio en el color sobre la superficie del material.

**Divulgación de la invención**

- 55 Cuando el choque térmico generado en el objeto que va a procesarse es grande en los procedimientos de corte de las publicaciones que se mencionan anteriormente, pueden tener lugar fracturas no necesarias, tales como las que se desvían de las líneas que van a cortarse o las que se extienden hasta una parte no irradiada con láser. Por lo tanto, estos procedimientos de corte no pueden lograr un corte de precisión. Cuando el objeto que va a procesarse es una oblea de semiconductor, un sustrato de vidrio formado con un dispositivo de visualización de cristal líquido, o  
60 un sustrato de vidrio formado con un patrón de electrodos en particular, pueden dañarse las microplacas de semiconductor, dispositivos de visualización de cristal líquido o patrones de electrodos, debido a las fracturas no necesarias. Asimismo, la energía de entrada promedio es tan alta en estos procedimientos de corte que el daño térmico impartido a la microplaca de semiconductor y similar es grande.

- 65 Un objeto de la presente invención es la provisión de procedimientos de procesamiento láser y un aparato de procesamiento láser que no generen fracturas no necesarias en la superficie de un objeto que va a procesarse y que

no fundan la superficie.

El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención es tal como se define en la reivindicación 1.

5 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención comprende una etapa de irradiación de un objeto que va a procesarse con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) y una anchura de impulsos de 1  $\mu$ s o menos en el punto de convergencia de luz, con el fin de formar a una región de fisura en el interior del objeto que va a procesarse. Un ejemplo del objeto que va a procesarse en el presente procedimiento de procesamiento láser es un elemento que incluye vidrio. En el presente caso, la densidad de potencia máxima hace referencia a la intensidad de campo eléctrico de la luz láser por impulsos en el punto de convergencia de luz.

15 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención comprende una etapa de irradiación de un objeto que va a procesarse con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) y una anchura de impulsos de 1  $\mu$ s o menos en el punto de convergencia de luz, con el fin de formar una región modificada que incluye una región procesada fundida en el interior del objeto a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el objeto. El objeto que va a procesarse en el presente procedimiento de procesamiento láser es un elemento que incluye un material semiconductor.

25 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un aspecto de la presente invención comprende una etapa de irradiación de un objeto que va a procesarse con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) y una anchura de impulsos de 1 ns o menos en el punto de convergencia de luz, con el fin de formar una región modificada que incluye una región de cambio de índice de refracción que es una región con un índice de refracción cambiado en el interior del objeto a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el objeto. El objeto que va a procesarse en el presente procedimiento de procesamiento láser es un elemento que incluye vidrio.

30 Los modos que pueden emplearse en los procedimientos de procesamiento láser anteriores de acuerdo con la presente invención son tal como sigue: la luz láser emitida a partir de una fuente de luz láser puede incluir luz láser por impulsos. La luz láser por impulsos puede concentrar la energía de láser espacial y temporalmente, mediante lo cual incluso una única fuente de luz láser permite que la intensidad de campo eléctrico (la densidad de potencia máxima) en el punto de convergencia de luz de la luz láser tenga una magnitud tal que puede tener lugar una absorción multifotónica.

35 Irradiar el objeto que va a procesarse con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior puede englobar un caso en el que se hace que la luz láser emitida a partir de una fuente de luz láser converja y a continuación el objeto se irradia con la luz láser que se hace converger de este modo con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior, por ejemplo. Esto hace que converja la luz láser, permitiendo de este modo que la intensidad de campo eléctrico de luz láser en el punto de convergencia de luz tenga una magnitud tal que puede tener lugar una absorción multifotónica.

45 Irradiar el objeto que va a procesarse con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior puede englobar un caso en el que el objeto que va a procesarse se irradia con unos haces de luz láser respectivos emitidos a partir de una pluralidad de fuentes de luz láser desde unas direcciones diferentes entre sí con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior. Debido a que se usa una pluralidad de fuentes de luz láser, esto permite que la intensidad de campo eléctrico de luz láser en el punto de convergencia de luz tenga una magnitud tal que puede tener lugar una absorción multifotónica. Por lo tanto, incluso una luz láser de onda continua que tiene una potencia instantánea más baja que la de la luz láser por impulsos puede formar una región modificada. Los haces de luz láser respectivos emitidos a partir de una pluralidad de fuentes de luz láser puede introducirse en el objeto que va a procesarse a partir de la superficie del mismo. Una pluralidad de fuentes de luz láser puede incluir una fuente de luz láser para emitir la luz láser que se introduce en el objeto que va a procesarse a partir de la superficie del mismo, y una fuente de luz láser para emitir la luz láser que se introduce en el objeto que va a procesarse a partir de la cara posterior del mismo. Una pluralidad de fuentes de luz láser puede incluir una sección de fuente de luz en la que unas fuentes de luz láser se disponen en una disposición ordenada a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar. Ésta puede formar una pluralidad de puntos de convergencia de luz a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar al mismo tiempo, siendo de este modo capaz de mejorar la velocidad de procesamiento.

60 La región modificada se forma moviendo el objeto que va a procesarse en relación con el punto de convergencia de luz de la luz láser que se encuentra en el interior del objeto. En el presente caso, el movimiento relativo que se menciona anteriormente forma la región modificada en el interior del objeto que va a procesarse a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar sobre la superficie del objeto.

65

5 El procedimiento comprende, de acuerdo con la presente invención, una etapa de corte para cortar el objeto que va a procesarse a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar. Cuando el objeto que va a procesarse no puede cortarse en la etapa de formación de la región modificada, la etapa de corte corta el objeto. La etapa de corte rompe el objeto que va a procesarse usando la región modificada como punto inicial, siendo de este modo capaz de cortar el objeto con una fuerza relativamente pequeña. Esto puede cortar el objeto que va a procesarse sin generar fracturas no necesarias que se desvíen de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en la superficie del objeto.

10 El objeto que va a procesarse, de acuerdo con la presente invención, son elementos que incluyen vidrio, material piezoeléctrico y material semiconductor. El presente procedimiento de procesamiento láser puede aplicarse también a un objeto que va a procesarse con una superficie formada con un dispositivo electrónico o un patrón de electrodos. El dispositivo electrónico hace referencia a un dispositivo de semiconductor, un dispositivo de visualización tal como cristal líquido, un dispositivo piezoeléctrico o similar.

15 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención comprende una etapa de irradiación de un material semiconductor con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) y una anchura de impulsos de 1  $\mu$ s o menos en el punto de convergencia de luz, con el fin de formar una región modificada en el interior del material semiconductor a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el material semiconductor. El procedimiento de procesamiento láser de la presente invención comprende una etapa de irradiación de un material piezoeléctrico con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) y una anchura de impulsos de 1  $\mu$ s o menos en el punto de convergencia de luz, con el fin de formar una región modificada en el interior del material piezoeléctrico a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el material piezoeléctrico. Los presentes procedimientos permiten un corte con láser sin generar una masa fundida o fracturas no necesarias que se desvíen de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en la superficie del objeto que va a procesarse por la misma razón que la de los procedimientos de procesamiento láser de acuerdo con los aspectos anteriores de la presente invención.

30 En el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un aspecto de la presente invención, el objeto que va a procesarse puede tener una superficie formada con una pluralidad de secciones de circuito, mientras que un punto de convergencia de luz de la luz láser se encuentra en el interior del objeto que va a procesarse orientado hacia un hueco formado entre secciones de circuito adyacentes en la pluralidad de secciones de circuito. Esto puede cortar de forma fiable el objeto que va a procesarse en la posición del hueco formado entre secciones de circuito adyacentes.

35 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un aspecto de la presente invención puede hacer que converja la luz láser en un ángulo mediante el cual una pluralidad de secciones de circuito no se irradia con la luz láser. Esto puede evitar que la luz láser se introduzca en las secciones de circuito y proteger las secciones de circuito frente a la luz láser.

40 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un aspecto la presente invención comprende una etapa de irradiación de un material semiconductor con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en el interior del material semiconductor, con el fin de formar una región procesada fundida sólo en el interior del material semiconductor a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el material semiconductor. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención permite un procesamiento láser sin generar fracturas no necesarias en la superficie del objeto que va a procesarse y sin fundir la superficie debido a las mismas razones que se mencionan anteriormente. La región procesada fundida puede estar producida por absorción multifotónica u otras razones.

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

**Breve descripción de los dibujos**

55 La figura 1 es una vista en planta de un objeto que va a procesarse durante el procesamiento láser mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una realización;  
 la figura 2 es una vista en sección del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 1, tomada a lo largo de la línea II-II;  
 la figura 3 es una vista en planta del objeto que va a procesarse tras el procesamiento láser efectuado mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;  
 60 la figura 4 es una vista en sección del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 3, tomada a lo largo de la línea IV-IV;  
 la figura 5 es una vista en sección del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 3, tomada a lo largo de la línea V-V;  
 65 la figura 6 es una vista en planta del objeto que va a procesarse, que se corta mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

la figura 7 es una gráfica que muestra las relaciones entre la intensidad de campo eléctrico y la magnitud de la fisura en el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

la figura 8 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en una primera etapa del procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

5 la figura 9 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en una segunda etapa del procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

la figura 10 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en una tercera etapa del procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

10 la figura 11 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en una cuarta etapa del procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

la figura 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección transversal en una parte de una oblea de silicio, que se corta mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la invención;

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

15 la figura 14 es un diagrama esquemático de un aparato de procesamiento láser que puede usarse en el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un primer ejemplo de la invención;

la figura 15 es un diagrama de flujo para explicar el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo de la invención;

20 la figura 16 es una vista en planta de un objeto que va a procesarse para explicar un patrón que puede cortarse mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo de la invención;

la figura 17 es una vista esquemática para explicar el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo de la invención con una pluralidad de fuentes de luz láser;

25 la figura 18 es una vista esquemática para explicar otro procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo de la invención con una pluralidad de fuentes de luz láser;

la figura 19 es una vista esquemática en planta que muestra una oblea de dispositivo piezoeléctrico en un estado sostenido por una lámina de oblea en el segundo ejemplo de la invención;

30 la figura 20 es una vista esquemática en sección que muestra una oblea de dispositivo piezoeléctrico en un estado sostenido por la lámina de oblea en el segundo ejemplo de la invención;

la figura 21 es un diagrama de flujo para explicar el procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

la figura 22 es una vista en sección de un material de transmisión de luz que se irradia con una luz láser mediante el procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

35 la figura 23 es una vista en planta del material de transmisión de luz que se irradia con una luz láser mediante el procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

la figura 24 es una vista en sección del material de transmisión de luz que se muestra en la figura 23, tomada a lo largo de la línea XXIVXXIV;

40 la figura 25 es una vista en sección del material de transmisión de luz que se muestra en la figura 23, tomada a lo largo de la línea XXVXXV;

la figura 26 es una vista en sección del material de transmisión de luz que se muestra en la figura 23, tomada a lo largo de la línea XXVXXV cuando la velocidad de movimiento del punto de convergencia de luz se reduce;

45 la figura 27 es una vista en sección del material de transmisión de luz que se muestra en la figura 23, tomada a lo largo de la línea XXVXXV cuando la velocidad de movimiento del punto de convergencia de luz se hace adicionalmente más baja;

la figura 28 es una vista en sección de una oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar que muestra una primera etapa del procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

50 la figura 29 es una vista en sección de la oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar que muestra una segunda etapa del procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

la figura 30 es una vista en sección de la oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar que muestra una tercera etapa del procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

la figura 31 es una vista en sección de la oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar que muestra una cuarta etapa del procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

55 la figura 32 es una vista en sección de la oblea de dispositivo piezoeléctrico o similar que muestra una quinta etapa del procedimiento de corte de acuerdo con el segundo ejemplo de la invención;

la figura 33 es una vista que muestra una fotografía de un plano de una Muestra en el interior de la cual se forma una región de fisura tras su irradiación con una luz láser por impulsos linealmente polarizada;

60 la figura 34 es una vista que muestra una fotografía de un plano de una Muestra en el interior de la cual se forma una región de fisura tras su irradiación con una luz láser por impulsos circularmente polarizada, no cubierta por la presente invención;

la figura 35 es una vista en sección de la muestra que se muestra en la figura 33, tomada a lo largo de la línea XXXV-XXXV;

65 la figura 36 es una vista en sección de la muestra que se muestra en la figura 34, tomada a lo largo de la línea XXXVI-XXXVI;

la figura 37 es una vista en planta de la parte del objeto que va a procesarse, que se extiende a lo largo de

una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, en el que se forma una región de fisura mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

5 la figura 38 es una vista en planta de la parte del objeto que va a procesarse, que se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, en el que se forma una región de fisura mediante un procedimiento de procesamiento láser comparativo;

la figura 39 es una vista que muestra una luz láser elípticamente polarizada de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención, y una región de fisura formada de este modo;

10 la figura 40 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

la figura 41 es una vista en perspectiva de una placa de cuarto de onda incluida en un regulador de elipticidad de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

la figura 42 es una vista en perspectiva de una placa de media onda incluida en una parte de regulador de giro de 90° de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

15 la figura 43 es un diagrama de flujo para explicar el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

la figura 44 es una vista en planta de una oblea de silicio que se irradia con una luz láser elípticamente polarizada mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

20 la figura 45 es una vista en planta de una oblea de silicio que se irradia con una luz láser linealmente polarizada mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

la figura 46 es una vista en planta de una oblea de silicio en la que la oblea de silicio que se muestra en la figura 44 se irradia con una luz láser elípticamente polarizada mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

25 la figura 47 es una vista en planta de una oblea de silicio en la que la oblea de silicio que se muestra en la figura 45 se irradia con una luz láser linealmente polarizada mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención;

30 la figura 48 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento láser de acuerdo con un cuarto ejemplo de la realización;

la figura 49 es una vista en planta de una oblea de silicio en la que la oblea de silicio que se muestra en la figura 44 se irradia con una luz láser elípticamente polarizada mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el cuarto ejemplo, no cubierto por la presente invención;

35 la figura 50 es una vista en planta del objeto que va a procesarse en el caso en el que se forma un punto de fisura relativamente grande, usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un quinto ejemplo de la realización;

la figura 51 es una vista en sección que se toma a lo largo de la línea LI-LI sobre la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar que se muestra en la figura 50;

40 la figura 52 es una vista en sección que se toma a lo largo de la línea LII-LII, ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar que se muestra en la figura 50;

la figura 53 es una vista en sección que se toma a lo largo de la línea LIII-LIII, ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar que se muestra en la figura 50;

45 la figura 54 es una vista en sección que se toma a lo largo de la línea LIV-LIV, ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar que se muestra en la figura 50;

la figura 55 es una vista en planta del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 50, cortado a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar;

50 la figura 56 es una vista en sección del objeto que va a procesarse, tomada a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el caso en el que se forma un punto de fisura relativamente pequeño, usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la realización;

la figura 57 es una vista en planta del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 56, cortado a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar;

55 la figura 58 es una vista en sección del objeto que va a procesarse que muestra un estado en el que se hace que converja una luz láser por impulsos en el interior del objeto usando una lente convergente de luz que tiene una apertura numérica predeterminada;

la figura 59 es una vista en sección del objeto que va a procesarse, que incluye un punto de fisura que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con luz láser que se muestra en la figura 58;

60 la figura 60 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en el caso en el que se usa una lente convergente de luz que tiene una apertura numérica más grande que la del ejemplo que se muestra en la figura 58;

la figura 61 es una vista en sección del objeto que va a procesarse, que incluye un punto de fisura que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con luz láser que se muestra en la figura 60;

65 la figura 62 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en el caso en el que se usa una luz láser por impulsos que tiene una potencia más baja que la del ejemplo que se muestra en la figura 58;

la figura 63 es una vista en sección del objeto que va a procesarse, que incluye un punto de fisura que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con luz láser que se muestra en la figura 62;

5 la figura 64 es una vista en sección del objeto que va a procesarse en el caso en el que se usa una luz láser por impulsos que tiene una potencia más baja que la del ejemplo que se muestra en la figura 60;

la figura 65 es una vista en sección del objeto que va a procesarse, que incluye un punto de fisura que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con luz láser que se muestra en la figura 64;

10 la figura 66 es una vista en sección que se toma a lo largo de la línea LXVI–LXVI, ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar que se muestra en la figura 57;

la figura 67 es un diagrama esquemático que muestra el aparato de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la realización;

15 la figura 68 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo no cubierto por la presente invención de un controlador global previsto en el aparato de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la realización;

la figura 69 es una vista que muestra un ejemplo de una tabla de una sección de almacenamiento de correlaciones, incluida en el controlador global del aparato de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la realización;

20 la figura 70 es una vista que muestra otro ejemplo de la tabla de la sección de almacenamiento de correlaciones, incluida en el controlador global del aparato de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la realización;

la figura 71 es una vista que muestra otro ejemplo más de la tabla de la sección de almacenamiento de correlaciones, incluida en el controlador global del aparato de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la realización;

25 la figura 72 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

la figura 73 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por una lente convergente de luz en el caso en el que no se dispone un expansor de haz;

30 la figura 74 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por la lente convergente de luz en el caso en el que se dispone un expansor de haz;

la figura 75 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

35 la figura 76 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por la lente convergente de luz en el caso en el que no se dispone un diafragma de iris;

la figura 77 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser producida por la lente convergente de luz en el caso en el que se dispone un diafragma de iris;

40 la figura 78 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un controlador global previsto en un ejemplo modificado del aparato de procesamiento láser;

la figura 79 es un diagrama de bloques de otro ejemplo de un controlador global previsto en el ejemplo modificado del aparato de procesamiento láser;

45 la figura 80 es un diagrama de bloques de otro ejemplo más de un controlador global previsto en el ejemplo modificado del aparato de procesamiento láser;

la figura 81 es una vista en planta de un ejemplo de la parte del objeto que va a procesarse, que se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, en el que se forma una región de fisura mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un octavo ejemplo de la invención;

50 la figura 82 es una vista en planta de otro ejemplo de la parte del objeto que va a procesarse, que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, en el que se forma una región de fisura mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el octavo ejemplo de la invención;

55 la figura 83 es una vista en planta de otro ejemplo más de la parte del objeto que va a procesarse, que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, en el que se forma una región de fisura mediante el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el octavo ejemplo de la invención;

60 la figura 84 es un diagrama esquemático de un láser de conmutación de Q previsto en una fuente de luz láser del aparato de procesamiento láser de acuerdo con el octavo ejemplo de la invención;

la figura 85 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo de un controlador global del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

65 la figura 86 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo de un controlador global del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

la figura 87 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más de un controlador global del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

la figura 88 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más de un controlador global del aparato de procesamiento láser, no cubierto por la presente invención;

la figura 89 es una vista en perspectiva de un ejemplo del objeto que va a procesarse, en el interior del cual se forma una región de fisura usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un noveno

ejemplo de la invención;

la figura 90 es una vista en perspectiva del objeto que va a procesarse, que se forma con una fisura que se extiende a partir de la región de fisura que se muestra en la figura 89;

5 la figura 91 es una vista en perspectiva de otro ejemplo del objeto que va a procesarse, en el interior del cual se forma una región de fisura usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el noveno ejemplo de la invención;

la figura 92 es una vista en perspectiva de otro ejemplo más del objeto que va a procesarse, en el interior del cual se forma una región de fisura usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el noveno ejemplo de la invención;

10 la figura 93 es una vista que muestra el estado en el que un punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa sobre la superficie del objeto que va a procesarse;

la figura 94 es una vista que muestra el estado en el que un punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa en el interior del objeto que va a procesarse;

15 la figura 95 es un diagrama de flujo para explicar el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el noveno ejemplo de la invención;

la figura 96 es una vista en perspectiva de un ejemplo del objeto que va a procesarse, en el interior del cual se forma una región de fisura usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un décimo ejemplo de la invención;

20 la figura 97 es una vista en sección parcial del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 96;

la figura 98 es una vista en perspectiva de otro ejemplo del objeto que va a procesarse, en el interior del cual se forma una región de fisura usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el décimo ejemplo de la invención;

25 la figura 99 es una vista en sección parcial del objeto que va a procesarse que se muestra en la figura 98; y la figura 100 es una vista en perspectiva de otro ejemplo más del objeto que va a procesarse, en el interior del cual se forma una región de fisura usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el décimo ejemplo de la invención.

#### Mejores modos para llevar a cabo la invención

30 En lo que sigue, la presente invención se explicará con referencia a los dibujos. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención forma una región modificada por absorción multifotónica. La absorción multifotónica es un fenómeno que tiene lugar cuando la intensidad de la luz láser se hace muy alta. En primer lugar, la absorción multifotónica se explicará de forma resumida.

35 Un material se vuelve ópticamente transparente cuando la energía  $h\nu$  de un fotón es más baja que la  $E_G$  de banda prohibida de absorción del material. Por lo tanto, la condición con la que tiene lugar la absorción en el material es  $h\nu > E_G$ . Incluso cuando es ópticamente transparente, no obstante, tiene lugar la absorción en el material con 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 se conoce como absorción multifotónica. En el caso de un tren de impulsos, la intensidad de la luz láser se determina por la densidad de potencia máxima ( $W/cm^2$ ) de la luz láser en el punto de convergencia de luz, mientras que la absorción multifotónica tiene lugar con la condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  ( $W/cm^2$ ), por ejemplo. La densidad de potencia máxima se determina por (energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz por impulso)/(el área en sección transversal del punto de haz de la luz láser x anchura de impulsos). En el caso de una onda continua, la intensidad de la luz láser se determina por la intensidad de campo eléctrico ( $W/cm^2$ ) de la luz láser en el punto de convergencia de luz.

50 El principio del procesamiento láser de acuerdo con la realización utilizando tal absorción multifotónica se explicará a continuación con referencia a las figuras 1 a 6. La figura 1 es una vista en planta de un objeto que va a procesarse durante el procesamiento láser. La figura 2 es una vista en sección del objeto 1 que se muestra en la figura 1, tomada a lo largo de la línea II-II. La figura 3 es una vista en planta del objeto 1 tras el procesamiento láser. La figura 4 es una vista en sección del objeto 1 que se muestra en la figura 3, tomada a lo largo de la línea IV-IV. La figura 5 es una vista en sección del objeto 1 que se muestra en la figura 3, tomada a lo largo de la línea V-V. La figura 6 es una vista en planta del objeto 1 cortado.

55 Tal como se muestra en las figuras 1 y 2, el objeto 1 tiene una superficie 3 con una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. La línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 es una línea virtual que se extiende linealmente. En el procesamiento láser de acuerdo con la presente realización, el objeto 1 se irradia con una luz láser L mientras que se ubica un punto de convergencia de luz P en el interior del objeto 1 en una condición que genera una absorción multifotónica, con el fin de formar una región modificada 7. El punto de convergencia de luz hace referencia a una ubicación en la que se hace que converja la luz láser L.

65 Moviendo relativamente la luz láser L a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 (es decir, a lo largo de la dirección de la flecha A), el punto de convergencia de luz P se mueve a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Esto forma la región modificada 7 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 sólo en el interior del objeto 1, tal como se muestra en las figuras 3 a 5. En el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente realización, la región modificada 7 no se forma



calentando el objeto 1 debido a la absorción de la luz láser L en su interior. La luz láser L se transmite a través del objeto 1, con el fin de generar una absorción multifotónica en su interior, formando de este modo la región modificada 7. Por lo tanto, la luz láser L apenas se absorbe en la superficie 3 del objeto 1, mediante lo cual la superficie 3 del objeto 1 no se fundirá.

5 Si existe un punto inicial en una parte que va a cortarse al cortar el objeto 1, el objeto 1 se romperá a partir del punto inicial, mediante lo cual el objeto 1 puede cortarse con una fuerza relativamente pequeña, tal como se muestra en la figura 6. Por lo tanto, el objeto 1 puede cortarse sin generar fracturas no necesarias en la superficie 3 del objeto 1.

10 Parecen darse los siguientes dos casos al cortar del objeto que va a procesarse usando la región modificada como punto inicial. El primer caso es aquél en el que, después de formar la región modificada, se aplica una fuerza artificial al objeto, mediante lo cual el objeto se rompe mientras que se usa la región modificada como punto inicial, y de este modo se corta. Este es el corte en el caso en el que el objeto que va a procesarse tiene un gran espesor, por ejemplo. La aplicación de una fuerza artificial incluye, por ejemplo, la aplicación de un esfuerzo de flexión o un esfuerzo cortante al objeto, a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el objeto que va a procesarse o impartir una diferencia de temperatura al objeto con el fin de generar un esfuerzo térmico. Otro caso es aquél en el que se forma una región modificada, de tal modo que el objeto se rompe de manera natural en la dirección de la sección transversal (dirección del espesor) del objeto mientras que se usa la región modificada como punto inicial, mediante lo cual se corta el objeto. Esto puede lograrse mediante una única región modificada cuando el espesor del objeto es pequeño, y mediante una pluralidad de regiones modificadas que se forman en la dirección del espesor cuando el espesor del objeto que va a procesarse es grande. La ruptura y el corte pueden llevarse a cabo con un control favorable incluso en el presente caso de ruptura natural, debido a que las roturas no alcanzarán la parte formada sin región modificada sobre la superficie en la parte que va a cortarse, de tal modo que sólo puede romperse y cortarse la parte formada con la región modificada. Un procedimiento de ruptura y corte de este tipo con una controlabilidad favorable es bastante efectivo, debido a que recientemente se ha tendido a reducir el espesor de las obleas de semiconductor tal como las obleas de silicio.

La región modificada formada por absorción multifotónica en la presente realización incluye los siguientes puntos (1) a (3):

30 (1) Caso en el que la región modificada es una región de fisura que incluye una o una pluralidad de fisuras

Se irradia un objeto que va a procesarse (por ejemplo, vidrio o un material piezoeléctrico fabricado de  $\text{LiTaO}_3$ ), de acuerdo con la presente invención, con luz láser mientras que el punto de convergencia de luz se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) y una anchura de impulsos de  $1 \mu\text{s}$  o menos en el punto de convergencia de luz. Esta magnitud de la anchura de impulsos es una condición con la que puede formarse una región de fisura sólo en el interior del objeto que va a procesarse, mientras que se genera una absorción multifotónica sin dar lugar a daños no necesarios en la superficie del objeto. Esto genera un fenómeno de daño óptico producido por la absorción multifotónica en el interior del objeto que va a procesarse. Este daño óptico induce distorsión térmica en el interior del objeto que va a procesarse, formando de este modo una región de fisura en su interior. El límite superior de la intensidad de campo eléctrico es de  $1 \times 10^{12}$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ), por ejemplo. La anchura de impulsos es preferiblemente de 1 ns a 200 ns, por ejemplo. La formación de una región de fisura producida por absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en "Internal Marking of glass Substrate by Solid-state Laser Harmonics", Actas de la 45ª Conferencia de Procesamiento de Materiales por Láser (diciembre de 1998), págs. 23–28.

El inventor de la presente invención determinó las relaciones entre la intensidad de campo eléctrico y la magnitud de la fisura mediante un experimento. Las condiciones para el experimento son tal como sigue:

- 50 (A) Objeto que va a procesarse: vidrio Pyrex (con un espesor de 700  $\mu\text{m}$ )  
(B) Láser

Fuente de luz: láser Nd: YAG de bombeo de láser de semiconductor  
Longitud de onda: 1.064 nm  
55 Área en sección transversal del punto de luz láser:  $3,14 \times 10^{-8}$   $\text{cm}^2$   
Modo de oscilación: impulso de conmutación de Q  
Frecuencia de repetición: 100 kHz  
Anchura de impulsos: 30 ns  
Salida: salida < 1 mJ/impulso  
60 Calidad de la luz láser: TEM<sub>00</sub>  
Característica de polarización: polarización lineal

(C) Lente convergente de luz

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

(D) Velocidad de movimiento de una mesa de montaje en la que está montado el objeto que va a procesarse: 100 mm/s

5 La calidad de la luz láser de TEM<sub>00</sub> indica que la convergencia de la luz es tan alta que puede hacerse que la luz converja hasta aproximadamente la longitud de onda de la luz láser.

10 La figura 7 es una gráfica que muestra los resultados del experimento que se menciona anteriormente. Las abscisas indican la densidad de potencia máxima. Debido a que la luz láser es una luz láser por impulsos, su intensidad de campo eléctrico se representa por la densidad de potencia máxima. Las ordenadas indican el tamaño de una parte de fisura (un punto de fisura) formada en el interior del objeto que va a procesarse por un impulso de luz láser. Un conjunto de puntos de fisura forma una región de fisura. El tamaño de un punto de fisura hace referencia a que de la parte con las dimensiones del punto de fisura que proporciona la longitud máxima. Los datos indicados por círculos negros en la gráfica hacen referencia a un caso en el que la lente convergente de luz (C) tiene un aumento de x100 y una apertura numérica (NA) de 0,80. Por otro lado, los datos indicados por círculos blancos en la gráfica hacen referencia a un caso en el que la lente convergente de luz (C) tiene un aumento de x50 y una apertura numérica (NA) de 0,55. Se observa que empiezan a producirse puntos de fisura en el interior del objeto que va a procesarse cuando la densidad de potencia máxima alcanza 10<sup>11</sup> (W/cm<sup>2</sup>), y se vuelven más grandes a medida que la densidad de potencia máxima aumenta.

20 A continuación se explicará un mecanismo mediante el cual se corta el objeto que va a procesarse tras la formación de una región de fisura en el procesamiento láser de acuerdo con la presente invención con referencia a las figuras 8 a 11. Tal como se muestra en la figura 8, el objeto que va a procesarse 1 se irradia con una luz láser L mientras que se ubica el punto de convergencia de luz P en el interior del objeto 1 en una condición en la que tiene lugar una absorción multifotónica, con el fin de formar una región de fisura 9 en su interior. La región de fisura 9 es una región que incluye una o una pluralidad de fisuras. Tal como se muestra en la figura 9, la fisura se desarrolla adicionalmente mientras que se usa la región de fisura 9 como punto inicial. Tal como se muestra en la figura 10, la fisura alcanza la superficie 3 y la cara posterior 21 del objeto 1. Tal como se muestra en la figura 11, el objeto 1 se rompe, con el fin de cortarse. La fisura que alcanza la superficie y la cara posterior del objeto que va a procesarse puede desarrollarse de manera natural o crecer a medida que se aplica una fuerza al objeto.

30 (2) Caso en el que la región modificada es una región procesada fundida

35 Un objeto que va a procesarse (por ejemplo, un material semiconductor tal como silicio) se irradia, de acuerdo con la presente invención, con luz láser mientras que el punto de convergencia de luz se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) y una anchura de impulsos de 1 μs o menos en el punto de convergencia de luz. Como consecuencia, el interior del objeto que va a procesarse se calienta localmente por absorción multifotónica. Este calentamiento forma una región procesada fundida en el interior del objeto que va a procesarse. La región procesada fundida hace referencia a al menos una de una región que se funde una vez y a continuación se vuelve a solidificar, una región en un estado fundido, y una región en el proceso de resolidificación desde su estado fundido. La región procesada fundida puede definirse también como una región de fase cambiada o una región que ha cambiado su estructura cristalina. La región procesada fundida puede considerarse también como una región en la que una cierta estructura se ha transformado en otra estructura con estructuras monocristalinas, amorfas y policristalinas. A saber, esto hace referencia a una región en la que una estructura monocristalina se ha transformado en una estructura amorfa, una región en la que una estructura monocristalina se ha transformado en una estructura policristalina, y una región en la que una estructura monocristalina se ha transformado en una estructura que incluye una estructura amorfa y una estructura policristalina, por ejemplo. Cuando el objeto que va a procesarse es una estructura monocristalina de silicio, la región procesada fundida es una estructura amorfa de silicio, por ejemplo. El límite superior de la intensidad de campo eléctrico es de  $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>), por ejemplo. La anchura de impulsos es preferiblemente de 1 ns a 200 ns, por ejemplo.

Mediante un experimento, el inventor de la presente invención ha verificado que una región procesada fundida se forma en el interior de una oblea de silicio. Las condiciones para el experimento son tal como sigue:

55 (A) Objeto que va a procesarse: oblea de silicio (con un espesor de 350 μm y un diámetro exterior de 4 pulgadas (101,6 mm))  
(B) Láser

60 Fuente de luz: láser Nd: YAG de bombeo de láser de semiconductor  
Longitud de onda: 1.064 nm  
Área en sección transversal del punto de luz láser:  $3,14 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>  
Modo de oscilación: impulso de conmutación de Q  
Frecuencia de repetición: 100 kHz  
Anchura de impulsos: 30 ns  
65 Salida: 20 μJ/impulso  
Calidad de la luz láser: TEM<sub>00</sub>

Característica de polarización: polarización lineal  
(C) Lente convergente de luz

5 Aumento: x50  
NA: 0,55  
Transmitancia con respecto a la longitud de onda de la luz láser: 60 %

10 (D) Velocidad de movimiento de una mesa de montaje en la que está montado el objeto que va a procesarse: 100 mm/s

15 La figura 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección transversal en una parte de una oblea de silicio cortada por procesamiento láser con las condiciones que se mencionan anteriormente. Una región procesada fundida 13 se forma en el interior de una oblea de silicio 11. El tamaño de la región procesada fundida formada con las condiciones que se mencionan anteriormente es de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  en la dirección del espesor.

20 Se explicará la formación de la región procesada fundida 13 por absorción multifotónica. La figura 13 es una gráfica que muestra las relaciones entre la longitud de onda de la luz láser y la transmitancia en el interior del sustrato de silicio. En el presente caso, se eliminan los componentes reflectantes respectivos sobre los lados de cara posterior y superficie del sustrato de silicio, mediante lo cual sólo se representa la transmitancia en su interior. Las relaciones que se mencionan anteriormente se muestran en los casos en los que el espesor  $t$  del sustrato de silicio es 50  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , y 1000  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

25 Por ejemplo, se observa que la luz láser se transmite a través del sustrato de silicio en al menos un 80 % a 1.064 nm, que es la longitud de onda del láser Nd: YAG, cuando el sustrato de silicio tiene un espesor de 500  $\mu\text{m}$  o menos. Debido a que la oblea de silicio 11 que se muestra en la figura 12 tiene un espesor de 350  $\mu\text{m}$ , la región procesada fundida producida por absorción multifotónica se forma cerca del centro de la oblea de silicio, es decir, en una parte separada 175  $\mu\text{m}$  de la superficie. La transmitancia en el presente caso es de un 90 % o mayor con referencia a una oblea de silicio que tiene un espesor de 200  $\mu\text{m}$ , mediante lo cual la luz láser se absorbe en el interior de la oblea de silicio 11 sólo ligeramente y se transmite sustancialmente a través de la misma. Esto quiere decir que la región procesada fundida no se forma por absorción de luz láser en el interior de la oblea de silicio 11 (es decir, no se forma tras el calentamiento con luz láser usual), sino por absorción multifotónica. La formación de una región procesada fundida por absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en "Processing Characteristic evaluation of Silicon by Picosecond Pulse Laser", Versiones Iniciales de la Reunión Nacional de la Asociación Japonesa de Soldadura, n.º 66 (abril de 2000), págs. 72–73.

35 En el presente caso, se genera una fractura en la dirección de la sección transversal mientras que se usa la región procesada fundida como punto inicial, mediante lo cual 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 que va a procesarse puede desarrollarse de manera natural o crecer a medida que se aplica una fuerza al objeto. La fractura se desarrolla de manera natural desde la región procesada fundida hasta la superficie y la cara posterior de la oblea de silicio, en uno de los casos en los que la fractura se desarrolla a partir de una región que se funde una vez y a continuación se vuelve a solidificar, en el que la fractura se desarrolla a partir de una región en un estado fundido, y en el que la fractura se desarrolla a partir de una región en el proceso de resolidificación desde un estado fundido. En cualquiera de los presentes casos, la región procesada fundida se forma sólo en el interior de la sección transversal después del corte, tal como se muestra en la figura 12. Cuando una región procesada fundida se forma en el interior del objeto que va a procesarse, es difícil que tengan lugar fracturas no necesarias que se desvíen de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el momento de la ruptura y el corte, lo que hace más fácil el control de la ruptura y el corte.

50 (3) Caso en el que la región modificada es una región de cambio de índice de refracción

55 Un objeto que va a procesarse (por ejemplo, vidrio) se irradia, de acuerdo con la presente invención, con luz láser mientras que el punto de convergencia de luz se encuentra en su interior en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) y una anchura de impulsos de 1 ns o menos en el punto de convergencia de luz. Cuando se genera una absorción multifotónica en el interior del objeto que va a procesarse con una anchura de impulsos muy corta, la energía producida por absorción multifotónica no se transforma en energía térmica, de tal modo que se induce un cambio estructural permanente, tal como un cambio de orientación de polarización, cristalización o valencia iónica en el interior del objeto, mediante lo cual se forma una región de cambio de índice de refracción. El límite superior de la intensidad de campo eléctrico es de  $1 \times 10^{12}$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ), por ejemplo. La anchura de impulsos es preferiblemente 1 ns o menos, más preferiblemente 1 ps o menos, por ejemplo. La formación de una región de cambio de índice de refracción por absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en "Formation of Photoinduced Structure within Glass by Femtosecond Laser Irradiation", Actas de la 42ª Conferencia de Procesamiento de Materiales por Láser (noviembre de 1997), págs. 105–111.

65 A continuación se explicarán ejemplos específicos de la invención.

[Primer ejemplo]

Se explicará el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un primer ejemplo de la invención. La figura 14 es un diagrama esquemático de un aparato de procesamiento láser 100 que puede usarse en el presente procedimiento. El aparato de procesamiento láser 100 comprende una fuente de luz láser 101 para generar una luz láser L; un controlador de fuente de luz láser 102 para controlar la fuente de luz láser 101 con el fin de regular la salida y la anchura de impulsos de la luz láser L y similar; un espejo dicróico 103, dispuesto con el fin de cambiar 90° la orientación del eje óptico de la luz láser L, que tiene una función de reflejar la luz láser L; una lente convergente de luz 105 para hacer que converja la luz láser L, la cual refleja el espejo dicróico 103; una mesa de montaje 107 para montar un objeto que va a procesarse 1 que se irradia con la luz láser L que la lente convergente de luz 105 hace que converja; una fase de eje X 109 para mover la mesa de montaje 107 en la dirección del eje X; una fase de eje Y 111 para mover la mesa de montaje 107 en la dirección del eje Y ortogonal a la dirección del eje X; una fase de eje Z 113 para mover la mesa de montaje 107 en la dirección del eje Z ortogonal a las direcciones en el eje X e Y; y un controlador de fase 115 para controlar el movimiento de estas tres fases 109, 111, 113.

La dirección del eje Z es una dirección ortogonal a la superficie 3 del objeto que va a procesarse 1, que se vuelve de este modo la dirección de la profundidad focal de la luz láser L que incide sobre el objeto 1. Por lo tanto, el movimiento de la fase de eje Z 113 en la dirección del eje Z puede ubicar el punto de convergencia de luz P de la luz láser L en el interior del objeto 1. Este movimiento del punto de convergencia de luz P en la dirección del eje X (Y) se efectúa moviendo el objeto 1 en la dirección del eje X (Y) mediante la fase de eje X (Y) 109 (111). La fase de eje X (Y) 109 (111) es un ejemplo de unos medios de movimiento.

La fuente de luz láser 101 es un láser Nd: YAG que genera una luz láser por impulsos. Otros tipos de láser conocidos que pueden usarse como la fuente de luz láser 101 incluyen el láser Nd: YVO<sub>4</sub>, el láser Nd: YLF y el láser de titanio-zafiro. Para formar una región de fisura o una región procesada fundida, se usan preferiblemente el láser Nd: YAG, el láser Nd: YVO<sub>4</sub> y el láser Nd: YLF. Para formar una región de cambio de índice de refracción, se usa preferiblemente el láser de titanio-zafiro.

A pesar de que en el primer ejemplo se usa una luz láser por impulsos para procesar el objeto 1, la luz láser de onda continua puede también usarse, a condición de que ésta pueda generar una absorción multifotónica. En la presente invención, la luz láser pretende incluir haces de láser. La lente convergente de luz 105 es un ejemplo de unos medios de convergencia de luz. La fase de eje Z 113 es un ejemplo de unos medios para ubicar el punto de convergencia de luz en el interior del objeto que va a procesarse. El punto de convergencia de luz de la luz láser puede encontrarse en el interior del objeto que va a procesarse moviendo relativamente la lente convergente de luz 105 en la dirección del eje Z.

El aparato de procesamiento láser 100 comprende además una fuente de luz de observación 117 para generar un haz de luz visible para irradiar el objeto que va a procesarse 1 montado sobre la mesa de montaje 107; y un divisor de haz de luz visible 119 dispuesto sobre el mismo eje óptico que el del espejo dicróico 103 y la lente convergente de luz 105. El espejo dicróico 103 se dispone entre el divisor de haz 119 y la lente convergente de luz 105. El divisor de haz 119 tiene una función de reflejar aproximadamente una mitad de un haz de luz visible y transmitir la mitad restante a su través, y se dispone con el fin de cambiar 90° la orientación del eje óptico del haz de luz visible. Una mitad del haz de luz visible que genera la fuente de luz de observación 117 se refleja por el divisor de haz 119, y el haz de luz visible reflejado de este modo se transmite a través del espejo dicróico 103 y la lente convergente de luz 105, con el fin de iluminar la superficie 3 del objeto 1 que incluye la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 y similar.

El aparato de procesamiento láser 100 comprende además un dispositivo de adquisición de imágenes 121 y una lente de generación de imagen 123 dispuesta sobre el mismo eje óptico que el del divisor de haz 119, el espejo dicróico 103 y la lente convergente de luz 105. Un ejemplo del dispositivo de adquisición de imágenes 121 es una cámara CCD (dispositivo de carga acoplada). La luz reflejada del haz de luz visible que ha iluminado la superficie 3, que incluye la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 y similar se transmite a través de la lente convergente de luz 105, el espejo dicróico 103 y el divisor de haz 119, y forma una imagen por medio de la lente de generación de imagen 123, mientras que la imagen formada de este modo se captura por el dispositivo de generación de imagen 121, con el fin de proporcionar datos de generación de imagen.

El aparato de procesamiento láser 100 comprende además un procesador de datos de generación de imagen 125 para introducir los datos de generación de imagen que emite como salida el dispositivo de generación de imagen 121, un controlador global 127 para controlar el aparato de procesamiento láser 100 como una totalidad, y un monitor 129. De acuerdo con los datos de generación de imagen, el procesador de datos de generación de imagen 125 calcula los datos de punto focal para ubicar el punto focal de la luz visible que se genera en la fuente de luz de observación 117 sobre la superficie 3. De acuerdo con los datos de punto focal, el controlador de fase 115 controla el movimiento de la fase de eje Z 113, de tal modo que el punto focal de la luz visible se encuentra sobre la superficie 3. Por lo tanto, el procesador de datos de generación de imagen 125 funciona como una unidad de enfoque automático. Asimismo, de acuerdo con los datos de generación de imagen, el procesador de datos de generación de imagen 125 calcula los datos de imagen tal como una imagen ampliada de la superficie 3. Los datos

de imagen se envían al controlador global 127, sujetos a varios tipos de procesamiento, y a continuación se envían al monitor 129. Como consecuencia, en el monitor 129 se visualiza una imagen ampliada o similar.

Los datos a partir del controlador de fase 115, los datos de imagen a partir del procesador de datos de generación de imagen 125 y similar se introducen en el controlador global 127. De acuerdo también 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 fase 115, controlando de este modo el aparato de procesamiento láser 100 como una totalidad. Por lo tanto, el controlador global 127 funciona como una unidad de ordenador.

Con referencia a las figuras 14 y 15, se explicará a continuación el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con un primer ejemplo de la invención. La figura 15 es un diagrama de flujo para explicar el presente procedimiento de procesamiento láser. El objeto que va a procesarse 1 es una oblea de silicio.

En primer lugar, una característica de absorción de luz del objeto 1 se determina mediante un espectrofotómetro o similar, que no se representa. De acuerdo con los resultados de la medición, se elige (S101) una fuente de luz láser 101 que genera una luz láser L, la cual tiene una longitud de onda para la que el objeto 1 es transparente o muestra una baja absorción. A continuación, se mide el espesor del objeto 1. De acuerdo con el resultado de la medición del espesor y el índice de refracción del objeto 1, se determina (S103) la cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del eje Z. Esta 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 láser L situado en la superficie 3 del objeto 1 con el fin de situar el punto de convergencia de luz P de la luz láser L en el interior del objeto 1. Esta cantidad de movimiento se introduce en el controlador global 127.

El objeto 1 se monta sobre la mesa de montaje 107 del aparato de procesamiento láser 100. A continuación, se genera una luz visible a partir de la fuente de luz de observación 117, con el fin de iluminar el objeto 1 (S105). La superficie iluminada 3 del objeto 1 que incluye la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 se captura por el dispositivo de adquisición de imágenes 121. Los datos de generación de imagen obtenidos de este modo se envían al procesador de datos de generación de imagen 125. De acuerdo con los datos de generación de imagen, el procesador de datos de generación de imagen 125 calcula unos datos de punto focal tales que el punto focal de la luz visible a partir de la fuente de luz de observación 117 se sitúa en la superficie 3 (S107).

Los datos de punto focal se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con los datos de punto focal, el controlador de fase 115 mueve la fase de eje Z 113 en la dirección del eje Z (S109). Como consecuencia, el punto focal de la luz visible a partir de la fuente de luz de observación 117 se sitúa en la superficie 3. De acuerdo con los datos de generación de imagen, el procesador de datos de generación de imagen 125 calcula unos datos de imagen ampliada de la superficie 3 del objeto, incluyendo la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Los datos de imagen ampliada se envían al monitor 129 por medio del controlador global 127, mediante lo cual una imagen ampliada de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 y sus alrededores se visualiza en el monitor 129.

Los datos de la cantidad de movimiento que se determinan en la etapa S103 se han introducido en el controlador global 127 de antemano, y se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con los datos de la cantidad de movimiento, el controlador de fase 115 da lugar a que la fase de eje Z 113 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 L se encuentra en el interior del objeto 1 (S111).

A continuación, se genera una luz láser L a partir de la fuente de luz láser 101, con el fin de irradiar la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en la superficie 3 del objeto con la luz láser L. Debido a que el punto de convergencia de luz P de la luz láser se sitúa en el interior del objeto 1, una región procesada fundida se forma sólo en el interior del objeto 1. Posteriormente, la fase de eje X 109 y la fase de eje Y 111 se mueven a lo largo de la línea que va a cortarse 5, con el fin de formar una región procesada fundida a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el interior del objeto 1 (S113). A continuación, el objeto 1 se dobla a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, y de este modo se corta (S115). Esto divide el objeto 1 en microplacas de silicio.

Se explicarán los efectos del primer ejemplo. En el presente caso, la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 se irradia con la luz láser por impulsos L en una condición que da lugar a una absorción multifotónica mientras que se ubica el punto de convergencia de luz P en el interior del objeto 1. A continuación, la fase de eje X 109 y la fase de eje Y 111 se mueven, con el fin de mover el punto de convergencia de luz P a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Como consecuencia, una región modificada (por ejemplo, una región de fisura, una región procesada fundida o una región de cambio de índice de refracción) se forma en el interior del objeto 1 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Cuando un cierto punto inicial existe en una parte que va a cortarse en el objeto que va a procesarse, el objeto puede cortarse rompiendo éste con una fuerza relativamente pequeña. Por lo tanto, la ruptura del objeto 1 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 mientras que se usa una región modificada como punto inicial puede cortar el objeto 1 con una fuerza relativamente pequeña. Esto puede cortar el objeto 1 sin generar fracturas no necesarias que se desvíen de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en la superficie 3 del objeto 1.

Asimismo, en el primer ejemplo, el objeto 1 se irradia con la luz láser por impulsos L en la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en una condición que genera una absorción multifotónica en el objeto 1 mientras que se ubica el punto de convergencia de luz P en el interior del objeto 1. Por lo tanto, la luz láser por impulsos L se transmite a través del objeto 1 sin absorberse sustancialmente en la superficie 3 del objeto 1, mediante lo cual la superficie 3 no sufrirá daños, tal como fusión, debido a la formación de una región modificada.

Tal como se explica en lo anterior, el primer ejemplo puede cortar el objeto 1 sin generar fracturas no necesarias que se desvíen de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 ni una masa fundida en la superficie 3 del objeto. Por lo tanto, cuando el objeto es una oblea de semiconductor, por ejemplo, una microplaca de semiconductor puede cortarse a partir de la oblea de semiconductor sin generar fracturas no necesarias que se desvíen de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar ni una masa fundida en la microplaca de semiconductor. Lo mismo sigue siendo cierto para los objetos que van a procesarse cuya superficie se forma con patrones de electrodos, y aquellos cuya superficie se forma con unos 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, microplacas de semiconductor, microplacas de dispositivo piezoeléctrico y dispositivos de visualización tales como cristal líquido) que se preparan cortando el objeto que va a procesarse.

Asimismo, debido a que la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en la superficie 3 del objeto 1 no se funde, el primer ejemplo puede disminuir la anchura de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 (siendo la anchura el intervalo entre las regiones que van a volverse microplacas de semiconductor en el caso de una oblea de semiconductor, por ejemplo). Esto aumenta el número de productos que se preparan a partir de un único objeto que va a procesarse 1, mediante lo cual la productividad de los productos puede mejorarse.

Debido a que la luz láser se usa para cortar el objeto 1, el primer ejemplo permite un procesamiento más complicado que el obtenido mediante la fragmentación con un cortador de diamante. Por ejemplo, incluso cuando la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 tiene una forma complicada, tal como se muestra en la figura 16, el primer ejemplo permite el corte. Estos efectos se obtienen de forma similar en los ejemplos que se explicarán posteriormente.

Puede preverse no sólo una única fuente de luz láser, sino también una pluralidad de fuentes de luz láser. Por ejemplo, la figura 17 es una vista esquemática para explicar el procedimiento de procesamiento láser en el primer ejemplo de la realización, en el que se proporciona una pluralidad de fuentes de luz láser. En el presente caso, el objeto 1 se irradia con tres haces de láser emitidos a partir de unas fuentes de luz láser respectivas 15, 17, 19 desde unas direcciones diferentes, mientras que el punto de convergencia de luz P se encuentra en el interior del objeto 1. Los haces de láser respectivos a partir de las fuentes de luz láser 15, 17 se hacen incidir sobre el objeto 1 a partir de la superficie 3 del mismo. Se hace que el haz de láser a partir de la fuente de luz láser 19 incida sobre el objeto 1 a partir de la cara posterior 21 del mismo. Debido a 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 una magnitud tal que tiene lugar una absorción multifotónica, incluso cuando la luz láser es una luz láser de onda continua que tiene una potencia más baja que la de la luz láser por impulsos. Por la misma razón, puede generarse una absorción multifotónica incluso sin una lente convergente de luz. A pesar de que el punto de convergencia de luz P se forma mediante las tres fuentes de luz láser 15, 17, 19, la presente invención no se limita a las mismas, a condición de que exista una pluralidad de fuentes de luz láser en su interior.

La figura 18 es una vista esquemática para explicar otro procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo de la invención, en el que se proporciona una pluralidad de fuentes de luz láser. El presente ejemplo comprende tres secciones de fuente de luz de disposición ordenada 25, 27, 29, cada una de las cuales tiene una pluralidad de fuentes de luz láser 23 que están alineadas a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Entre las secciones de fuente de luz de disposición ordenada 25, 27, 29, unos haces de láser emitidos a partir de unas fuentes de luz láser 23 dispuestas en la misma fila forman un único punto de convergencia de luz (por ejemplo, el punto de convergencia de luz P1). El presente ejemplo puede formar una pluralidad de puntos de convergencia de luz P1, P2, a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, mediante lo cual puede mejorarse la velocidad de procesamiento. Asimismo, en el presente ejemplo, una pluralidad de filas de regiones modificadas puede formarse al mismo tiempo tras el barrido con láser sobre la superficie 3, en una dirección ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5.

[Segundo ejemplo]

Un segundo ejemplo de la invención se explicará a continuación. El presente ejemplo se dirige a un procedimiento de corte un material de transmisión de luz. El material de transmisión de luz es un ejemplo de los objetos que van a procesarse. En el presente ejemplo, una oblea de dispositivo piezoeléctrico (un sustrato) que tiene un espesor de aproximadamente 400 µm, fabricada de LiTaO<sub>3</sub>, se usa como un material de transmisión de luz.

El aparato de corte está constituido por el aparato de procesamiento láser 100 que se muestra en la figura 14 y el aparato que se muestra en las figuras 19 y 20. Se explicará el aparato que se muestra en las figuras 19 y 20. La

oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se sostiene por una lámina (película) de oblea 33 que actúa como unos medios de sujeción. En la lámina de oblea 33, la cara sobre el lado que sostiene la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se hace de una cinta de resina adhesiva o similar, y tiene elasticidad. La lámina de oblea 33 se coloca sobre una mesa de montaje 107 mientras que se sujeta con un portamuestras 35. Tal como se muestra en la figura 19, la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 incluye un número de microplacas de dispositivo piezoeléctrico 37 que se cortarán y se separarán más tarde. Cada microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 tiene una sección de circuito 39. La sección de circuito 39 se forma sobre la superficie de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 para cada microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37, mientras que se forma un hueco predeterminado  $\alpha$  (de aproximadamente 80  $\mu\text{m}$ ) entre unas secciones de circuito adyacentes 39. La figura 20 muestra un estado en el que se forman unas regiones de fisura diminutas 9 como partes modificadas en el interior de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31.

A continuación, con referencia a la figura 21, se explicará el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el segundo ejemplo. En primer lugar, se determina (S201) una característica de absorción de luz del material de transmisión de luz (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 fabricada de  $\text{LiTaO}_3$  en el segundo ejemplo) que va a volverse un material que va a cortarse. La característica de absorción de luz puede medirse usando un espectrofotómetro o similar. Una vez que se determina la característica de absorción de luz, una fuente de luz láser 101 que genera una luz láser L, la cual tiene una longitud de onda para la que el material que va a cortarse es transparente o muestra una baja absorción se elige de acuerdo con el resultado de la determinación (S203). En el segundo ejemplo, se elige un láser YAG del tipo tren de impulsos (PW) que tiene una longitud de onda de onda fundamental de 1.064 nm. Este láser YAG tiene una frecuencia de repetición de impulsos de 20 Hz, una anchura de impulsos de 6 ns, y una energía de impulsos de 300  $\mu\text{J}$ . El diámetro de punto de la luz láser L emitida a partir del láser YAG es de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ .

A continuación, se mide (S205) el espesor del material que va a cortarse. Una vez que se mide el espesor del material que va a cortarse, la cantidad de desplazamiento (la cantidad de movimiento) del punto de convergencia de luz de la luz láser L a partir de la superficie (la cara de entrada para la luz láser L) del material que va a cortarse en la dirección del eje óptico de la luz láser L se determina con el fin de colocar el punto de convergencia de luz de la luz láser L en el interior del material que va a cortarse de acuerdo con el resultado de la medición (S207). Por ejemplo, en conformidad con el espesor y el índice de refracción del material que va a cortarse, la cantidad de desplazamiento (la cantidad de movimiento) del punto de convergencia de luz de la luz láser L se ajusta a 1/2 del espesor del material que va a cortarse.

Tal como se muestra en la figura 22, debido a la diferencia entre el índice de refracción en la atmósfera (por ejemplo, aire) que rodea el material que va a cortarse y el índice de refracción del material que va a cortarse, la posición real del punto de convergencia de luz P de la luz láser se encuentra a mayor profundidad que la posición del punto de convergencia de luz Q de la luz láser L que la lente convergente de luz 105 hace que converja a partir de la superficie del material que va a cortarse (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31). A saber, la relación de "cantidad de movimiento de la fase de eje Z 113 en la dirección del eje óptico de la luz láser L x índice de refracción del material que va a cortarse = cantidad de movimiento real del punto de convergencia de luz de la luz láser L" se mantiene en el aire. La cantidad de desplazamiento (la cantidad de movimiento) del punto de convergencia de luz de la luz láser L se ajusta a la vista de la relación que se menciona anteriormente (entre el espesor y el índice de refracción del material que va a cortarse). Después de eso, el material que va a cortarse sostenido por la lámina de oblea 33 se monta sobre la mesa de montaje 107 que se coloca sobre la fase de eje X Y Z (constituida por la fase de eje X 109, la fase de eje Y 111 y la fase de eje Z 113 en la presente realización) (S209). Después de que se ha completado el montaje del material que va a cortarse, se emite luz a partir de la fuente de luz de observación 117, con el fin de irradiar el material que va a cortarse con la luz emitida de este modo. A continuación, de acuerdo con el resultado de la generación de imagen en el dispositivo de adquisición de imágenes 121, se lleva a cabo un ajuste de enfoque moviendo la fase de eje Z 113 con el fin de colocar el punto de convergencia de luz de la luz láser L sobre la superficie del material que va a cortarse (S211). En el presente caso, la imagen de observación de superficie de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 obtenida mediante la fuente de luz de observación 117 se captura por el dispositivo de adquisición de imágenes 121, mientras que el procesador de datos de generación de imagen 125 determina la posición móvil de la fase de eje Z 113 de acuerdo con el resultado de la generación de imagen, de tal modo que la luz emitida a partir de la fuente de luz de observación 117 forma un punto focal sobre la superficie del material que va a cortarse, y emite como salida la posición determinada de este modo al controlador de fase 115. De acuerdo con una señal de salida a partir del procesador de datos de generación de imagen 125, el controlador de fase 115 controla la fase de eje Z 113 de tal modo que la posición móvil de la fase de eje Z 113 se encuentra en una posición para hacer que la luz emitida a partir de la fuente de luz de observación 117 forme un punto focal sobre el material que va a cortarse, es decir, para colocar el punto focal de la luz láser L sobre la superficie del material que va a cortarse.

Después de que el ajuste de enfoque de la luz emitida a partir de la fuente de luz de observación 117 se ha completado, el punto de convergencia de luz de la luz láser L se mueve hasta un punto de convergencia de luz que se corresponde con el espesor y el índice de refracción del material que va a cortarse (S213). En el presente caso, el controlador global 127 envía una señal de salida al controlador de fase 115 con el fin de mover la fase de eje Z 113 en la dirección del eje óptico de la luz láser L la cantidad de desplazamiento del punto de convergencia de luz

de la luz láser que se determina en conformidad con el espesor y el índice de refracción del material que va a cortarse, mediante lo cual el controlador de fase 115 que ha recibido la señal de salida regula la posición móvil de la fase de eje Z 113. Tal como se menciona anteriormente, la colocación del punto de convergencia de luz de la luz láser L en el interior del material que va a cortarse se ha completado moviendo la fase de eje Z 113 en la dirección del eje óptico de la luz láser L la cantidad de desplazamiento del punto de convergencia de luz de la luz láser L que se determina en conformidad con el espesor y el índice de refracción del material que va a cortarse (S215).

Después de que la colocación del punto de convergencia de luz de la luz láser L en el interior del material que va a cortarse se ha completado, el material que va a cortarse se irradia con una luz láser L y la fase de eje X 109 y la fase de eje Y 111 se mueven en conformidad con un patrón de corte deseable (S217). Tal como se muestra en la figura 22, se hace que la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101 converja mediante la lente convergente de luz 105, de tal modo que el punto de convergencia de luz P se sitúa en el interior de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 orientado hacia un hueco predeterminado (80  $\mu\text{m}$ , tal como se menciona anteriormente) formado entre unas secciones de circuito adyacentes 39. El patrón de corte deseable que se menciona anteriormente se ajusta de tal modo que el hueco formado entre las secciones de circuito adyacentes 39 con el fin de separar una pluralidad de microplacas de dispositivo piezoeléctrico 37 con respecto a la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se irradia con la luz láser L, mientras que la luz láser L se irradia a la vez que el estado de la irradiación de la luz láser L se ve a través del monitor 129.

En el presente caso, tal como se muestra en la figura 22, se hace que la luz láser L que irradia el material que va a cortarse converja mediante la lente convergente de luz 105 con un ángulo en el que las secciones de circuito 39 formadas sobre la superficie de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 (la superficie sobre la que la luz láser L está incidiendo) no se irradian con la luz láser L. Hacer que la luz láser L converja con un ángulo en el que las secciones de circuito 39 no se irradian con la luz láser L puede evitar que la luz láser L se introduzca en las secciones de circuito 39 y proteger las secciones de circuito 39 frente a la luz láser L.

Cuando se hace que la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101 converja de tal modo que el punto de convergencia de luz P se sitúa en el interior de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 mientras que la densidad de energía de la luz láser L en el punto de convergencia de luz P supera un umbral de daño óptico o de ruptura de dieléctrico óptico, se forman unas regiones de fisura diminutas 9 sólo en el punto de convergencia de luz P en el interior de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 que actúa como un material que va a cortarse, y sus alrededores. En el presente caso, la superficie y la cara posterior del material que va a cortarse (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31) no se dañará.

A continuación, con referencia a las figuras 23 a 27, se explicará la formación de fisuras moviendo el punto de convergencia de luz de la luz láser L. El material que va a cortarse 32 (el material de transmisión de luz) con la forma de un paralelepípedo sustancialmente rectangular que se muestra en la figura 23 se irradia con una luz láser L de tal modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser L se sitúa en el interior del material que va a cortarse 32, mediante lo cual se forman unas regiones de fisura diminutas 9 sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material que va a cortarse 32 y sus alrededores, tal como se muestra en las figuras 24 y 25. El barrido de la luz láser L, o el movimiento del material que va a cortarse 32, se regula con el fin de mover el punto de convergencia de luz de la luz láser L en la dirección longitudinal D del material que va a cortarse 32 que corta el eje óptico de la luz láser L.

Debido a que la luz láser L se emite a partir de la fuente de luz láser 101 de una forma pulsante, se forma una pluralidad de regiones de fisura 9 con un hueco entre las mismas que se corresponde con la velocidad de barrido de la luz láser L o la velocidad de movimiento del material que va a cortarse 32 a lo largo de la dirección longitudinal D del material que va a cortarse 32 cuando se barre la luz láser L o se mueve el material que va a cortarse 32. La velocidad de barrido de la luz láser L, o la velocidad de movimiento del material que va a cortarse 32, puede ralentizarse, con el fin de acortar el hueco entre las regiones de fisura 9, aumentando de ese modo el número de regiones de fisura 9 formadas de este modo, tal como se muestra en la figura 26. La velocidad de barrido de la luz láser L, o la velocidad de movimiento del material que va a cortarse, puede ralentizarse adicionalmente, de tal modo que la región de fisura 9 se forma de manera continua en la dirección de barrido de la luz láser L o la dirección de movimiento del material que va a cortarse 32, es decir, la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz de la luz láser L, tal como se muestra en la figura 27. El ajuste del hueco entre las regiones de fisura 9 (el número de regiones de fisura 9 que ha de formarse) puede también obtenerse cambiando la relación entre la frecuencia de repetición de la luz láser L y la velocidad de movimiento del material que va a cortarse 32 (la fase de eje X o la fase de eje Y). Asimismo, el rendimiento puede mejorarse cuando se aumentan la frecuencia de repetición de la luz láser L y la velocidad de movimiento del material que va a cortarse 32.

Una vez que las regiones de fisura 9 se forman a lo largo del patrón de corte deseable que se menciona anteriormente (S219), se genera un esfuerzo debido a la aplicación de fuerza externa física, cambios ambientales y similares en el interior del material que va a cortarse, la parte formada con las regiones de fisura 9 en particular, con el fin de desarrollar las regiones de fisura 9 formadas sólo en el interior del material que va a cortarse (el punto de convergencia de luz y sus alrededores), cortando de este modo el material que va a cortarse en una posición formada con las regiones de fisura 9 (S221).



Con referencia a las figuras 28 a 32, se explicará el corte del material que va a cortarse tras la aplicación de fuerza externa física. En primer lugar, el material que va a cortarse (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31) formado con las regiones de fisura 9 a lo largo del patrón de corte deseable se coloca en un aparato de corte mientras que se encuentra en un estado sostenido por una lámina de oblea 33 agarrada por el portamuestras 35. El aparato de corte

5 tiene una boquilla de succión 34, la cual se explicará posteriormente, una bomba de succión (que no se representa) conectada a la boquilla de succión 34, una aguja de presión 36 (un elemento de presión), unos medios de accionamiento de aguja de presión (que no se representan) para mover la aguja de presión 36 y similar. Hay un accionador de tipo eléctrico, hidráulico o de otros tipos, que puede usarse como el medio de accionamiento de aguja de presión. Las figuras 28 a 32 no muestran las secciones de circuito 39.

10 Una vez que la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se coloca en el aparato de corte, la boquilla de succión 34 se aproxima a la posición que se corresponde con la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 que va a aislarse, tal como se muestra en la figura 28. Un aparato de bomba de succión se acciona mientras que se encuentra en un estado en el que la boquilla de succión 34 se encuentra más cerca de, o hace tope contra, la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 que va a aislarse, mediante lo cual la boquilla de succión 34 atrae la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31) que va a aislarse, tal como se muestra en la figura 29. Una vez que la boquilla de succión 34 atrae la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31) que va a aislarse, la aguja de presión 36 se mueve hasta la posición que se corresponde con la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 que va a aislarse con respecto a la cara posterior de lámina de oblea 33 (la cara posterior de la superficie sujeta con la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31), tal como se muestra en la figura 30.

25 Cuando la aguja de presión 36 se mueve adicionalmente después de hacer tope contra la cara posterior de la lámina de oblea 33, la lámina de oblea 33 se deforma, mientras que la aguja de presión 36 aplica un esfuerzo a la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 desde el exterior, mediante lo cual se genera un esfuerzo en la parte de oblea formada con las regiones de fisura 9, el cual desarrolla las regiones de fisura 9. Cuando las regiones de fisura 9 se desarrollan hasta la superficie y la cara posterior de la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31, la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se corta en una parte de extremo de la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 que va a aislarse, tal como se muestra en la figura 31, mediante lo cual la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 se aísla con respecto a la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31. La lámina de oblea 33 tiene la adhesividad que se menciona anteriormente, siendo de este modo capaz de evitar que las microplacas de dispositivo piezoeléctrico cortadas y separadas 37 se alejen volando.

35 Una vez que la microplaca 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 alejan de la lámina de oblea 33. Cuando se mueven la boquilla de succión 34 y la aguja de presión 36, la microplaca de dispositivo piezoeléctrico aislada 37 se libera de la lámina de oblea 33, tal como se muestra en la figura 32, debido a que la primera se atrae hacia la boquilla de succión 34. En el presente caso, un aparato de soplado de aire ionizado, que no se representa, se usa para enviar un aire ionizado en la dirección de las flechas B en la figura 32, mediante lo cual la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37 aislada y atraída hacia la boquilla de succión 34, y la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 (la superficie) que sostiene la lámina de oblea 32 se limpian con el aire ionizado. En el presente caso, puede preverse un aparato de succión en lugar de la limpieza de aire ionizado, de tal modo que las microplacas de dispositivo piezoeléctrico cortadas y separadas 37 y la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se limpian a medida que se aspiran el polvo y similar. Un procedimiento de corte conocido del material que va a cortarse debido a cambios ambientales es uno que imparte un cambio de temperatura al material que va a cortarse que tiene las regiones de fisura 9 sólo en su interior. Cuando se imparte un cambio de temperatura al material que va a cortarse en ese sentido, una distorsión térmica puede tener lugar en la parte de material formada con las regiones de fisura 9, de tal modo que se desarrollan las regiones de fisura, mediante lo cual puede cortarse el material que va a cortarse.

50 Por lo tanto, en el segundo ejemplo, la lente convergente de luz 105 hace que converja la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101 de tal modo que su punto de convergencia de luz se sitúa en el interior del material de transmisión de luz (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31), mediante lo cual la densidad de energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz supera el umbral de daño óptico o de ruptura de dieléctrico óptico, lo cual forma las fisuras diminutas 9 sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores. Debido a que el material de transmisión de luz se corta en las posiciones de regiones de fisura 9 formadas de este modo, la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, mediante lo cual también se vuelve muy baja la posibilidad de daños de fragmentación, astillamiento o fisuras sobre la superficie del material y similar que tienen lugar. Debido a que el material de transmisión de luz se corta a lo largo de las regiones de fisura 9 formadas por los daños ópticos o la ruptura de dieléctrico óptico del material de transmisión de luz, la estabilidad de corte direccional mejora, de tal modo que la dirección de corte puede controlarse con facilidad. Asimismo, la anchura de fragmentación puede hacerse más pequeña que la obtenida en la fragmentación con un cortador de diamante; mediante lo cual puede aumentarse el número de materiales de transmisión de luz cortados a partir de un material de transmisión de luz. Como resultado de lo anterior, el segundo ejemplo puede cortar el material de transmisión de luz con bastante facilidad y de forma apropiada.

Asimismo, se genera un esfuerzo en el interior del material que va a cortarse debido a la aplicación de fuerza externa física, cambios ambientales y similar, con el fin de desarrollar las regiones de fisura 9 formadas para cortar el material de transmisión de luz (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31), mediante lo cual el material de transmisión de luz puede cortarse de forma fiable en las posiciones de las regiones de fisura 9 formadas.

5 Asimismo, la aguja de presión 36 se usa para aplicar un esfuerzo al material de transmisión de luz (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31), con el fin de desarrollar las regiones de fisura 9 formadas para cortar el material de transmisión de luz (la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31), mediante lo cual el material de transmisión de luz puede cortarse de más forma fiable en las posiciones de las regiones de fisura 9 formadas.

10 Cuando la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 (el material de transmisión de luz) que se forma con una pluralidad de secciones de circuito 39 se corta y se separa en microplacas de dispositivo piezoeléctrico individuales 37, la lente convergente de luz 105 hace que la luz láser L converja de tal modo que el punto de convergencia de luz se sitúa en el interior de la parte de oblea orientada hacia el hueco formado entre unas secciones de circuito adyacentes 39, y  
15 forma las regiones de fisura 9, mediante lo cual la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 puede cortarse de forma fiable en la posición del hueco formado entre unas secciones de circuito adyacentes 39.

20 Cuando el material de transmisión de luz (la oblea de dispositivo piezoeléctrico-31) se mueve o la luz láser L se barre con el fin de mover el punto de convergencia de luz, en una dirección que corta el eje óptico de la luz láser L, por ejemplo, una dirección ortogonal a la misma, la región de fisura 9 se forma de manera continua a lo largo de la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz, de tal modo que la estabilidad de corte direccional mejora adicionalmente, lo que hace posible controlar la dirección de corte más con facilidad.

25 Asimismo, en el segundo ejemplo, apenas existen residuos pulverulentos que emitan polvo, de tal modo que no se necesita agua de limpieza/ lubricante para evitar que los residuos pulverulentos que emiten polvo se alejen volando, mediante lo cual puede realizarse un procesamiento en seco en la etapa de corte.

30 En el segundo ejemplo, debido a que la formación de una parte modificada (la región de fisura 9) se realiza con la luz láser L mediante un procesamiento sin contacto, no tendrán lugar problemas de durabilidad de las cuchillas, su frecuencia de sustitución y similar en la fragmentación producida por los cortadores de diamante. Asimismo, debido a que la formación de una parte modificada (la región de fisura 9) se realiza con la luz láser L mediante un procesamiento sin contacto, el segundo ejemplo puede cortar el material de transmisión de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material de transmisión de luz sin cortar por completo el mismo. La presente invención no se limita al segundo ejemplo que se menciona anteriormente. Por ejemplo, el material de transmisión de luz  
35 puede ser una oblea de semiconductor, un sustrato de vidrio o similar, sin limitarse a la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31. Asimismo, la fuente de luz láser 101 puede seleccionarse de forma apropiada, en conformidad con una característica de absorción óptica del material de transmisión de luz que va a cortarse. A pesar de que las regiones diminutas 9 se forman como una parte modificada tras su 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 impulsos ultracortos (por ejemplo, un láser de femtosegundos (fs)) puede formar una parte modificada producida por un cambio de índice de refracción (un índice de refracción más alto), siendo de este modo capaz de cortar el material de transmisión de luz sin generar las regiones de fisura 9 utilizando un cambio de característica mecánica de este tipo.

45 A pesar de que el ajuste de enfoque de la luz láser L se lleva a cabo moviendo la fase de eje Z 113 en el aparato de procesamiento láser 100, éste puede efectuarse moviendo la lente convergente de luz 105 en la dirección del eje óptico de la luz láser L, sin limitarse a la misma.

50 A pesar de que la fase de eje X 109 y la fase de eje Y 111 se mueven en conformidad con un patrón de corte deseable en el aparato de procesamiento láser 100, esto no es restrictivo, mediante lo cual la luz láser L puede barrerse en conformidad con un patrón de corte deseable.

60 A pesar de que la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se corta mediante la aguja de presión 36 después de atraerse hacia la boquilla de succión 34, esto no es restrictivo, mediante lo cual la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 puede cortarse mediante la aguja de presión 36, y a continuación la microplaca de dispositivo piezoeléctrico cortada y aislada 37 puede atraerse hacia la boquilla de succión 34. En el presente caso, cuando la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se corta mediante la aguja de presión 36 después de que la oblea de dispositivo piezoeléctrico 31 se atraiga hacia la boquilla de succión 34, la superficie de la microplaca de dispositivo piezoeléctrico cortada y aislada 37 se cubre con la boquilla de succión 34, lo que puede evitar que se adhieran el polvo y similar a la superficie de la microplaca de dispositivo piezoeléctrico 37.

65 Asimismo, cuando se usa un dispositivo de adquisición de imágenes 121 para rayos infrarrojos, el ajuste de enfoque puede llevarse a cabo utilizando la luz reflejada de la luz láser L. En el presente caso, se necesita usar medio espejo en lugar del espejo dicróico 103, a la vez que se dispone un dispositivo óptico entre el medio espejo y la fuente de luz láser 101, el cual elimina la luz de retorno a la fuente de luz láser 101. En el presente caso, se prefiere que la salida de la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101 en el momento de ajuste de enfoque se ajuste a un nivel de energía más bajo que el de la salida para formar fisuras, de tal modo que la luz láser L para llevar a cabo

el ajuste de enfoque no dañe el material que va a cortarse.

Los rasgos característicos de la presente invención se explicarán a continuación a partir de los puntos de vista del segundo ejemplo.

5 El procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con un aspecto de la presente invención comprende una etapa de formación de parte modificada para hacer que converja la luz láser emitida a partir de una fuente de luz láser, de tal modo que su punto de convergencia de luz se sitúa en el interior del material de transmisión de luz, con el fin de formar una parte modificada sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores; y una etapa de corte para cortar el material de transmisión de luz en la posición de la parte modificada formada de este modo.

15 En el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención, se hace que la luz láser converja de tal modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa en el interior del material de transmisión de luz en la etapa de formación de parte modificada, mediante lo cual la parte modificada se forma sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores: En la etapa de corte, el material de transmisión de luz se corta en la posición de la parte modificada formada de este modo, de tal modo que la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, mediante lo cual también se vuelve muy baja la posibilidad de daños de fragmentación, astillamiento o fisuras sobre la superficie del material y similar que tienen lugar. Debido a que el material de transmisión de luz se corta en la posición de la parte modificada formada de este modo, la estabilidad de corte direccional mejora, de tal modo que la dirección de corte puede controlarse con facilidad. Asimismo, la anchura de fragmentación puede hacerse más pequeña que la obtenida en la fragmentación con un cortador de diamante, mediante lo cual puede aumentarse el número de materiales de transmisión de luz cortados a partir de un material de transmisión de luz. Como resultado de lo anterior, la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz con bastante facilidad y de forma apropiada.

25 Asimismo, en el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención, apenas existen residuos pulverulentos que emitan polvo, de tal modo que no se necesita agua de limpieza/ lubricante para evitar que los residuos pulverulentos que emiten polvo se alejen volando, mediante lo cual puede realizarse un procesamiento en seco en la etapa de corte.

30 En el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención, debido a que la formación de una parte modificada se realiza con luz láser mediante un procesamiento sin contacto, no tendrán lugar problemas de durabilidad de las cuchillas, su frecuencia de sustitución y similar en la fragmentación producida por los cortadores de diamante. Asimismo, debido a que la formación de una parte modificada se realiza con la luz láser mediante un procesamiento sin contacto, el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material de transmisión de luz sin cortar por completo el mismo.

40 Preferiblemente, el material de transmisión de luz se forma con una pluralidad de secciones de circuito, mientras que se hace que la luz láser converja de tal modo que el punto de convergencia de luz se sitúa en el interior del material de transmisión de luz parte orientada hacia el hueco formado entre secciones de circuito adyacentes en la etapa de formación de parte modificada, con el fin de formar la parte modificada. Con una configuración de este tipo, el material de transmisión de luz puede cortarse de forma fiable en la posición del hueco formado entre secciones de circuito adyacentes.

50 Cuando se irradia el material de transmisión de luz con luz láser en la etapa de formación de parte modificada, se prefiere hacer que la luz láser converja con un ángulo en el que las secciones de circuito no se irradian con la luz láser. Hacer que converja la luz láser con un ángulo en el que las secciones de circuito no se irradian con la luz láser cuando se irradia el material de transmisión de luz con la luz láser en la etapa de formación de parte modificada en ese sentido, puede evitar que la luz láser se introduzca en las secciones de circuito y proteger las secciones de circuito contra la luz láser.

55 Preferiblemente, en la etapa de formación de parte modificada, el punto de convergencia de luz se mueve en una dirección que corta el eje óptico de la luz láser, con el fin de formar una parte modificada de forma continua 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 corta el eje óptico de la luz láser en la etapa de formación de parte modificada en ese sentido, con el fin de formar la parte modificada de forma continua a lo largo de la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz, la estabilidad de corte direccional mejora adicionalmente, lo que hace aún más fácil el control de la dirección de corte.

60 El procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con un aspecto de la presente invención comprende una etapa de formación de fisura para hacer que converja la luz láser emitida a partir de una fuente de luz láser, de tal modo que su punto de convergencia de luz se sitúa en el interior del material de transmisión de luz, con el fin de formar una fisura sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores; y una etapa de corte para cortar el material de transmisión de luz en la posición de la fisura

formada de este modo.

5 En el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención, se hace que la luz láser converja de tal modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa en el interior del material de transmisión de luz, de modo que la densidad de energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz supera un umbral de daño óptico o de ruptura de dieléctrico óptico del material de transmisión de luz, mediante lo cual se forma una fisura sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores. En la etapa de corte, el material de transmisión de luz se corta en la posición de la fisura formada de este modo, de tal modo que la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, mediante lo cual también se vuelve muy baja la posibilidad de daños de fragmentación, astillamiento o fisuras sobre la superficie del material y similar que tienen lugar. Debido a que el material de transmisión de luz se corta en la posición de la fisura formada por un daño óptico o una ruptura de dieléctrico óptico, la estabilidad de corte direccional mejora, de tal modo que la dirección de corte puede controlarse con facilidad. Asimismo, la anchura de fragmentación puede hacerse más pequeña que la obtenida en la fragmentación con un cortador de diamante, mediante lo cual puede aumentarse el número de materiales de transmisión de luz cortados a partir de un material de transmisión de luz. Como resultado de lo anterior, la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz con bastante facilidad y de forma apropiada.

20 Asimismo, en el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención, apenas existen residuos pulverulentos que emitan polvo, de tal modo que no se necesita agua de limpieza/ lubricante para evitar que los residuos pulverulentos que emiten polvo se alejen volando, mediante lo cual puede realizarse un procesamiento en seco en la etapa de corte.

25 En el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención, debido a que la formación de una fisura se realiza con luz láser mediante un procesamiento sin contacto, no tendrán lugar problemas de durabilidad de las cuchillas, su frecuencia de sustitución y similar en la fragmentación producida por los cortadores de diamante. Asimismo, debido a que la formación de una fisura se realiza con la luz láser mediante un procesamiento sin contacto, el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material de transmisión de luz sin cortar por completo el mismo.

35 Preferiblemente, en la etapa de corte, el material de transmisión de luz se corta desarrollando la fisura formada. Al cortar el material de transmisión de luz desarrollando la fisura formada en la etapa de corte en ese sentido, puede cortarse de forma fiable el material de transmisión de luz en la posición de la fisura formada.

40 Preferiblemente, en la etapa de corte, un esfuerzo se aplica al material de transmisión de luz usando un elemento de presión, con el fin de desarrollar una fisura, cortando de este modo el material de transmisión de luz. Cuando un esfuerzo se aplica al material de transmisión de luz en la etapa de corte usando un elemento de presión en ese sentido, con el fin de desarrollar una fisura, cortando de este modo el material de transmisión de luz, el material de transmisión de luz puede cortarse de más forma fiable en la posición de la fisura.

45 El aparato para cortar un material de transmisión de luz comprende una fuente de luz láser; unos medios de sujeción para sostener el material de transmisión de luz; un dispositivo óptico para hacer que converja la luz láser emitida a partir de la fuente de luz láser, de tal modo que un punto de convergencia de luz del mismo se sitúa en el interior del material de transmisión de luz; y unos medios de corte para cortar el material de transmisión de luz en la posición de una parte modificada formada sólo en el punto de convergencia de luz de la luz láser en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores.

50 En el aparato para cortar un material de transmisión de luz, el dispositivo óptico hace que converja la luz láser de tal modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa en el interior del material de transmisión de luz, mediante lo cual una parte modificada se forma sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores. A continuación, los medios de corte cortan el material de transmisión de luz en la posición de la parte modificada formada sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores, mediante lo cual el material de transmisión de luz se corta de forma fiable a lo largo de la parte modificada formada de este modo. Como consecuencia, la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, mientras que la posibilidad de daños de fragmentación, astillamiento o fisuras sobre la superficie del material y similar que tienen lugar también se vuelve muy baja. Asimismo, debido a que el material de transmisión de luz se corta a lo largo de la parte modificada, la estabilidad de corte direccional mejora, mediante lo cual la dirección de corte puede controlarse con facilidad. Asimismo, la anchura de fragmentación puede hacerse más pequeña que la obtenida en la fragmentación con un cortador de diamante, mediante lo cual puede aumentarse el número de materiales de transmisión de luz cortados a partir de un material de transmisión de luz. Como resultado de lo anterior, la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz con bastante facilidad y de forma apropiada.

65 Asimismo, en el aparato para cortar un material de transmisión de luz apenas existen residuos pulverulentos que emitan polvo, de tal modo que no se necesita agua de limpieza/ lubricante para evitar que los residuos pulverulentos

que emiten polvo se alejen volando, mediante lo cual puede realizarse un procesamiento en seco en la etapa de corte.

En el aparato para cortar un material de transmisión de luz, debido a que la parte modificada se forma con luz láser mediante un procesamiento sin contacto, no tendrán lugar problemas de durabilidad de las cuchillas, su frecuencia de sustitución y similar en la fragmentación producida por los cortadores de diamante como en las técnicas convencionales. Asimismo, debido a que la parte modificada se forma mediante un procesamiento sin contacto con la luz láser tal como se menciona anteriormente, el aparato para cortar un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material de transmisión de luz sin cortar por completo el mismo.

El aparato para cortar un material de transmisión de luz comprende una fuente de luz láser; unos medios de sujeción para sostener el material de transmisión de luz; un dispositivo óptico para hacer que converja la luz láser emitida a partir de la fuente de luz láser, de tal modo que un punto de convergencia de luz del mismo se sitúa en el interior del material de transmisión de luz; y unos medios de corte para cortar el material de transmisión de luz desarrollando una fisura formada sólo en el punto de convergencia de luz de la luz láser en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores.

En el aparato para cortar un material de transmisión de luz, el dispositivo óptico hace que converja la luz láser de tal modo que el punto de convergencia de luz de la luz láser se sitúa en el interior del material de transmisión de luz, de modo que la densidad de energía de la luz láser en el punto de convergencia de luz supera un umbral de daño óptico o de ruptura de dieléctrico óptico del material de transmisión de luz, mediante lo cual se forma una fisura sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores. A continuación, los medios de corte cortan el material de transmisión de luz, desarrollando la fisura formada sólo en el punto de convergencia de luz en el interior del material de transmisión de luz y sus alrededores, mediante lo cual el material de transmisión de luz se corta de forma fiable a lo largo de la fisura formada por un daño óptico o una ruptura de dieléctrico óptico del material de transmisión de luz. Como consecuencia, la cantidad de emisión de polvo es muy pequeña, mientras que la posibilidad de daños de fragmentación, astillamiento o fisuras sobre la superficie del material y similar que tienen lugar también se vuelve muy baja. Debido a que el material de transmisión de luz se corta a lo largo de la fisura, la estabilidad de corte direccional mejora, de tal modo que la dirección de corte puede controlarse con facilidad. Asimismo, la anchura de fragmentación puede hacerse más pequeña que la obtenida en la fragmentación con un cortador de diamante, mediante lo cual puede aumentarse el número de materiales de transmisión de luz cortados a partir de un material de transmisión de luz. Como resultado de lo anterior, la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz con bastante facilidad y de forma apropiada.

Asimismo, en el aparato para cortar un material de transmisión de luz apenas existen residuos pulverulentos que emitan polvo, de tal modo que no se necesita agua de limpieza/ lubricante para evitar que los residuos pulverulentos que emiten polvo se alejen volando, mediante lo cual puede realizarse un procesamiento en seco en la etapa de corte.

En el aparato para cortar un material de transmisión de luz, debido a que la fisura se forma con luz láser mediante un procesamiento sin contacto, no tendrán lugar problemas de durabilidad de las cuchillas, su frecuencia de sustitución y similar en la fragmentación producida por los cortadores de diamante como en las técnicas convencionales. Asimismo, debido a que la fisura se forma mediante un procesamiento sin contacto con la luz láser tal como se menciona anteriormente, el procedimiento de corte de un material de transmisión de luz de acuerdo con el presente aspecto de la presente invención puede cortar el material de transmisión de luz a lo largo de un patrón de corte que corta el material de transmisión de luz sin cortar por completo el mismo.

Preferiblemente, los medios de corte tienen un elemento de presión para aplicar un esfuerzo al material de transmisión de luz. Cuando los medios de corte tienen un elemento de presión para aplicar un esfuerzo al material de transmisión de luz en ese sentido, puede aplicarse un esfuerzo al material de transmisión de luz usando el elemento de presión, con el fin de desarrollar una fisura, mediante lo cual el material de transmisión de luz puede cortarse de más forma fiable en la posición de la fisura formada.

Preferiblemente, el material de transmisión de luz es uno cuya superficie se forma con una pluralidad de secciones de circuito, mientras que el dispositivo óptico hace que converja la luz láser de tal modo que el punto de convergencia de luz se sitúa en el interior del material de transmisión de luz parte orientada hacia el hueco formado entre secciones de circuito adyacentes. Con una configuración de este tipo, el material de transmisión de luz puede cortarse de forma fiable en la posición del hueco formado entre secciones de circuito adyacentes.

Preferiblemente, el dispositivo óptico hace que converja la luz láser con un ángulo en el que las secciones de circuito no se irradian con la luz láser. Cuando el dispositivo óptico hace que converja la luz láser con un ángulo en el que las secciones de circuito no se irradian con la luz láser en ese sentido, esto puede evitar que la luz láser se introduzca en las secciones de circuito y proteger las secciones de circuito frente a la luz láser.

Preferiblemente, el aparato comprende además unos medios de movimiento de punto de convergencia de luz para mover el punto de convergencia de luz en una dirección que corta el eje óptico de la luz láser. Cuando el aparato

comprende además unos medios de movimiento de punto de convergencia de luz para mover el punto de convergencia de luz en una dirección que corta el eje óptico de la luz láser en ese sentido, puede formarse una fisura de manera continua a lo largo de la dirección de movimiento del punto de convergencia de luz, de tal modo que la estabilidad de corte direccional mejora adicionalmente, mediante lo cual la dirección de corte puede controlarse adicionalmente con facilidad.

[Tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención]

Se explicará un tercer ejemplo, no cubierto por la presente invención. En el tercer ejemplo y el cuarto ejemplo, ambos no cubiertos por la presente invención, que se explicarán posteriormente, un objeto que va a procesarse se irradia con una luz láser de tal modo que la dirección de polarización lineal de luz láser linealmente polarizada se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el objeto que va a procesarse, mediante lo cual se forma una región modificada en el objeto que va a procesarse. Como consecuencia, en el punto modificado que se forma con un único impulso de descarga (es decir, un único impulso de irradiación láser), el tamaño en la dirección que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar puede hacerse relativamente grande cuando la luz láser es una luz láser por impulsos. El inventor de la presente invención ha confirmado esto mediante un experimento. Las condiciones para el experimento son tal como sigue:

(A) Objeto que va a procesarse: oblea de vidrio Pyrex (con un espesor de 700  $\mu\text{m}$  y un diámetro exterior de 4 pulgadas (101,6 mm))  
(B) Láser

Fuente de luz: láser Nd: YAG de bombeo de láser de semiconductor  
Longitud de onda: 1.064 nm  
Área en sección transversal del punto de luz láser:  $3,19 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$   
Modo de oscilación: impulso de conmutación de Q  
Frecuencia de repetición: 100 kHz  
Anchura de impulsos: 30 ns  
Salida: salida < 1 mJ/impulso  
Calidad de la luz láser: TEM<sub>00</sub>  
Característica de polarización: polarización lineal

(C) Lente convergente de luz

Aumento: x50  
NA: 0,55  
Transmitancia con respecto a la longitud de onda de la luz láser: 60 %

(D) Velocidad de movimiento de una mesa de montaje en la que está montado el objeto que va a procesarse: 100 mm/s

Cada una de las Muestras 1, 2, que era un objeto que iba a procesarse, se expuso a una única descarga de impulso de la luz láser por impulsos, mientras que el punto de convergencia de luz se encuentra en el interior del objeto que va a procesarse, mediante lo cual una región de fisura producida por absorción multifotónica se forma en el interior del objeto que va a procesarse. La Muestra 1 se irradió con una luz láser por impulsos linealmente polarizada, mientras que la Muestra 2 se irradió con una luz láser por impulsos circularmente polarizada.

La figura 33 es una vista que muestra una fotografía de la Muestra 1 en planta, mientras que la figura 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 por impulsos. Las letras LP y CP indican de forma esquemática una polarización lineal y una polarización circular, respectivamente. La figura 35 es una vista que muestra de forma esquemática una sección transversal de la Muestra 1 que se muestra en la figura 33, tomada a lo largo de la línea XXXV-XXXV. La figura 36 es una vista que muestra de forma esquemática una sección transversal de la Muestra 1 que se muestra en la figura 34, tomada a lo largo de la línea XXXVI-XXXVI. Un punto de fisura 90 se forma en el interior de una oblea de vidrio 211, que es el objeto que va a procesarse.

En el caso en el que la luz láser por impulsos es una luz linealmente polarizada, tal como se muestra en la figura 35, el tamaño de un punto de fisura 90 formado por una única descarga de impulso es relativamente grande en la dirección que está alineada con la dirección de polarización lineal. Esto indica que la formación del punto de fisura 90 se acelera en esta dirección. Cuando la luz láser por impulsos es una luz circularmente polarizada, por el contrario, el tamaño del punto de fisura 90 formado por una única descarga de impulso no se volverá más grande en ninguna dirección específica, tal como se muestra en la figura 36. El tamaño del punto de fisura 90 en la dirección que proporciona la longitud máxima es más grande en la Muestra 1 que en la Muestra 2.

El hecho de que una región de fisura que se extiende a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar puede formarse de forma eficiente se explicará a partir de estos resultados de experimento. Cada

una de las figuras 37 y 38 son unas vistas en planta de unas regiones de fisura formadas a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en un objeto que va a procesarse. Un número de puntos de fisura 90, cada uno formado por una única descarga de impulso, se forman a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, mediante lo cual se forma una región de fisura 9 que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. La figura 37 muestra la región de fisura 9 formada tras su irradiación con una luz láser por impulsos, de tal modo que la dirección de polarización lineal de la luz láser por impulsos se alinea con la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. La formación de los puntos de fisura 9 se acelera a lo largo de la dirección de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, mediante lo cual su tamaño es relativamente grande en esta dirección. Por lo tanto, la región de fisura 9 que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 puede formarse mediante un número de descargas más pequeño. Por otro lado, la figura 38 muestra la región de fisura 9 formada tras su irradiación con una luz láser por impulsos, de tal modo que la dirección de polarización lineal de la luz láser por impulsos es ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Debido a que el tamaño de un punto de fisura 90 en la dirección de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 es relativamente pequeña, el número de descargas requeridas para formar la región de fisura 9 se vuelve más grande que el en el caso de la figura 37. Por lo tanto, el procedimiento de formación de una región de fisura que se muestra en la figura 37 puede formar la región de fisura de forma más eficiente de lo que lo hace el procedimiento que se muestra en la figura 38.

Asimismo, debido a que luz láser por impulsos se irradia mientras que la dirección de polarización lineal de la luz láser por impulsos es ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, la formación del punto de fisura 90 formado en la descarga se acelera en la dirección de la anchura de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Por lo tanto, cuando el punto de fisura 90 se extiende demasiado en la dirección de la anchura de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, el objeto que va a procesarse no puede cortarse con precisión a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Por el contrario, el punto de fisura 90 formado en la descarga no se extiende mucho en direcciones diferentes de la dirección que está alineada con la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el procedimiento de acuerdo con la presente realización que se muestra en la figura 37, mediante lo cual el objeto que va a procesarse puede cortarse con precisión.

A pesar de que hacer el tamaño en una dirección predeterminada relativamente grande entre los tamaños de una región modificada se ha explicado en el caso de la polarización lineal, lo mismo sigue siendo cierto también en la polarización elíptica. A saber, tal como se muestra en la figura 39, la formación del punto de fisura 90 se acelera en la dirección del eje mayor  $b$  de una elipse que representa la polarización elíptica EP de la luz láser, mediante lo cual puede formarse el punto de fisura 90 que tiene un tamaño relativamente grande a lo largo de esta dirección. Por lo tanto, cuando una región de fisura se forma de tal modo que el eje mayor de una elipse que indica la polarización elíptica del láser elípticamente polarizado con una elipticidad diferente de 1 se alinea con una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el objeto que va a procesarse, tienen lugar unos efectos similares a los del caso de la polarización lineal. En el presente caso, la elipticidad es la mitad de la longitud del eje menor  $a$ / la mitad de la longitud del eje mayor  $b$ . Debido a que la elipticidad es más pequeña, el tamaño del punto de fisura 90 a lo largo de la dirección del eje mayor  $b$  se vuelve más grande. La luz linealmente polarizada es una luz elípticamente polarizada con una elipticidad de cero. Cuando la elipticidad es 1 se obtiene una luz circularmente polarizada, la cual no puede hacer el tamaño de la región de fisura relativamente grande en una dirección predeterminada. Por lo tanto, la presente realización no engloba el caso en el que la elipticidad es 1.

A pesar de que se ha explicado cómo hacer el tamaño en una dirección predeterminada relativamente grande entre los tamaños de una región modificada en el caso de una región de fisura, lo mismo sigue siendo cierto también en las regiones procesadas fundidas y en las regiones de cambio de índice de refracción. Asimismo, a pesar de que se explica la luz láser por impulsos, lo mismo sigue siendo cierto también en la luz láser de onda continua. Lo anterior también sigue siendo cierto en un cuarto ejemplo que se explicará posteriormente:

Se explicará el aparato de procesamiento láser a continuación. La figura 40 es un diagrama esquemático del presente aparato de procesamiento láser. El aparato de procesamiento láser 200 se explicará principalmente en términos de sus diferencias con respecto al aparato de procesamiento láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 14. El aparato de procesamiento láser 200 comprende un regulador de elipticidad 201 para ajustar la elipticidad de polarización de la luz láser L emitida a partir de una fuente de luz láser 101, y un regulador de giro de  $90^\circ$  203 para ajustar el giro de la polarización de la luz láser L emitida a partir del regulador de elipticidad 201 en aproximadamente  $90^\circ$ .

El regulador de elipticidad 201 incluye una placa de cuarto de onda 207 que se muestra en la figura 41. La placa de cuarto de onda 207 puede ajustar la elipticidad de la luz elípticamente polarizada cambiando el ángulo de la dirección  $\theta$ . A saber, cuando se hace que incida una luz con una polarización lineal LP sobre la placa de cuarto de onda 207, la luz transmitida obtiene una polarización elíptica EP con una elipticidad predeterminada. El ángulo de la dirección es un ángulo formado entre el eje mayor de la elipse y el eje X. Tal como se menciona anteriormente, en la presente realización se emplea como la elipticidad un número diferente de 1. El regulador de elipticidad 201 puede hacer que la polarización de la luz láser L se vuelva una luz elípticamente polarizada EP que tiene una elipticidad deseable. La elipticidad se ajusta a la vista del espesor y el material del objeto que va a procesarse 1 y similar.

5 Cuando se irradia el objeto que va a procesarse 1 con una luz láser L que tiene una polarización lineal LP, la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101 es una luz linealmente polarizada LP, mediante lo cual el regulador de elipticidad 201 ajusta el ángulo de la dirección  $\theta$  de la placa de cuarto de onda 207 de tal modo que la luz láser L pasa a través de la placa de cuarto de onda mientras que es la luz linealmente polarizada LP. Asimismo, la fuente de luz láser 101 emite una luz láser linealmente polarizada L, mediante lo cual el regulador de elipticidad 201 no es necesario cuando sólo se utiliza una luz láser de polarización lineal LP para irradiar el objeto que va a procesarse con láser.

10 El regulador de giro de  $90^\circ$  203 incluye una placa de media onda 205, tal como se muestra en la figura 42. La placa de media onda 205 es una placa de longitud de onda para hacer la polarización ortogonal a la luz de incidencia linealmente polarizada. A saber, cuando una luz linealmente polarizada  $LP_1$  con un ángulo de la dirección de  $45^\circ$  está incidiendo sobre la placa de media onda 205, por ejemplo, la luz transmitida se vuelve una luz linealmente polarizada  $LP_2$  que se gira  $90^\circ$  con respecto a la luz de incidencia  $LP_1$ . Cuando se gira  $90^\circ$  la polarización de la luz láser L emitida a partir del regulador de elipticidad 201, el regulador de giro de  $90^\circ$  203 funciona con el fin de colocar la placa de media onda 205 sobre el eje óptico de la luz láser L. Cuando no se gira la polarización de la luz láser L emitida a partir del regulador de elipticidad 201, el regulador de giro de  $90^\circ$  203 funciona con el fin de colocar la placa de media onda 205 en el exterior de la trayectoria óptica de la luz láser L (es decir, en el lugar en el que la luz láser L no pasa a través de la placa de media onda 205).

20 El espejo dicróico 103 se dispone de tal modo que la luz láser L cuyo giro de polarización se regula o no  $90^\circ$  por el regulador de giro de  $90^\circ$  203 está incidiendo sobre el mismo y que la dirección del eje óptico de la luz láser L se cambia  $90^\circ$ . El aparato de procesamiento láser 200 comprende una fase de eje  $\theta$  213 para hacer que gire el plano X-Y de la mesa de montaje 107 alrededor de la dirección del espesor del objeto que va a procesarse 1. El controlador de fase 115 regula no sólo el movimiento de las fases 109, 111, 113, sino también el movimiento de la fase 213.

30 Con referencia a las figuras 40 y 43, se explicará a continuación el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo de la presente realización. La figura 43 es un diagrama de flujo para explicar el presente procedimiento de procesamiento láser. El objeto que va a procesarse 1 es una oblea de silicio. Las etapas S101 a S111 son las mismas que las del primer ejemplo que se muestra en la figura 15.

35 El regulador de elipticidad 201 ajusta la elipticidad de la luz láser L que tiene una polarización lineal LP emitida a partir de la fuente de luz láser 101 (S121). La luz láser L, la cual tiene una polarización elíptica EP con una elipticidad deseable, puede obtenerse cuando el ángulo de la dirección  $\theta$  de la placa de cuarto de onda se cambia en el regulador de elipticidad 201.

40 En primer lugar, para procesar el objeto que va a procesarse 1 a lo largo de la dirección del eje Y, se ajusta el eje mayor de una elipse que indica la polarización elíptica EP de la luz láser L con el fin de coincidir con la dirección de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 que se extiende en la dirección del eje Y del objeto que va a procesarse 1 (S123). Esto se logra girando la fase de eje  $\theta$  213. Por lo tanto, la fase de eje  $\theta$  213 funciona como un medio de ajuste de eje mayor o un medio de ajuste de polarización lineal.

45 Para procesar el objeto 1 a lo largo de la dirección del eje Y, el regulador de giro de  $90^\circ$  203 lleva a cabo un ajuste que no hace que gire la polarización de la luz láser L (S125). A saber, éste funciona con el fin de colocar la placa de media onda hacia el exterior de la trayectoria óptica de la luz láser L.

50 La fuente de luz láser 101 genera una luz láser L, mientras que la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 que se extiende en la dirección del eje Y en la superficie 3 del objeto que va a procesarse 1 se irradia con la luz láser L. La figura 44 es una vista en planta del objeto 1. El objeto 1 se irradia con la luz láser L de tal modo que el eje mayor que indica la elipse de polarización elíptica EP de la luz láser se extiende a lo largo de la línea más a la derecha a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el objeto 1. Debido a que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa en el interior del objeto 1, las regiones procesadas fundidas se forman sólo en el interior del objeto 1. La fase de eje Y 111 se mueve a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, con el fin de formar una región procesada fundida en el interior del objeto que va a procesarse 1 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5.

60 A continuación, se mueve la fase de eje X 109, con el fin de irradiar la línea colindante a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 con una luz láser L, y una región procesada fundida se forma en el interior del objeto 1 a lo largo de la línea colindante a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 de una forma similar a la mencionada anteriormente. Repitiendo esto, una región procesada fundida se forma en el interior del objeto 1 a lo largo de las líneas que van a cortarse 5 sucesivamente a partir del lado derecho (S127). La figura 45 muestra el caso en el que el objeto 1 se irradia con la luz láser L, la cual tiene una polarización lineal. A saber, el objeto 1 se irradia con una luz láser de tal modo que la dirección de polarización lineal LP de la luz láser se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el objeto 1.

65



A continuación, el regulador de giro de 90° 203 funciona con el fin de colocar la placa de media onda 205 (figura 42) sobre el eje óptico de la luz láser L. Esto lleva a cabo un ajuste para hacer que gire 90° la polarización de luz láser emitida a partir del regulador de elipticidad 219 (S219).

5 Posteriormente, la luz láser 101 genera una luz láser L, mientras que se irradia con la luz láser L la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar que se extiende en la dirección del eje X de la superficie 3 del objeto 1. La figura 46 es una vista en planta del objeto 1. El objeto 1 se irradia con la luz láser L de tal modo que la dirección del eje mayor de una elipse que indica la polarización elíptica EP de la luz láser L se extiende a lo largo de la línea inferior a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 que se extiende en la dirección del eje X del objeto 1. Debido a que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se sitúa en el interior del objeto 1, las regiones procesadas fundidas se forman sólo en el interior del objeto 1. La fase de eje X 109 se mueve a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, con el fin de formar una región procesada fundida en el interior del objeto 1 que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5.

15 A continuación, se mueve la fase de eje Y, de tal modo que la línea inmediatamente superior a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 se irradia con la luz láser L, mediante lo cual una región procesada fundida se forma en el interior del objeto 1 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 de una forma similar a la mencionada anteriormente. Repitiendo esto, se forman unas regiones procesadas fundidas respectivas en el interior del objeto 1 a lo largo de las líneas individuales que van a cortarse sucesivamente a partir del lado inferior (S131). La figura 47 muestra el caso en el que el objeto 1 se irradia con la luz láser L, la cual tiene una polarización lineal LP.

20 A continuación, el objeto 1 se dobla a lo largo de las líneas que van a cortarse 5, mediante lo cual el objeto 1 se corta (S133). Esto divide el objeto 1 en microplacas de silicio.

25 Se explicarán los efectos del tercer ejemplo. De acuerdo con el tercer ejemplo, el objeto 1 se irradia con una luz láser por impulsos L de tal modo que la dirección del eje mayor de una elipse que indica la polarización elíptica EP de la luz láser por impulsos L se extiende a lo largo de las líneas que van a cortarse 5, tal como se muestra en las figuras 44 y 46. Como consecuencia, el tamaño de los puntos de fisura en la dirección de las líneas que van a cortarse 5 se vuelve relativamente grande, mediante lo cual pueden formarse unas regiones de fisura que se extienden a lo largo de unas líneas que van a cortarse mediante un número de descargas más pequeño. El tercer ejemplo puede formar de manera eficiente unas regiones de fisura en ese sentido, siendo de este modo capaz de mejorar la velocidad de procesamiento del objeto 1. Asimismo, el punto de fisura formado en la descarga no se extiende en direcciones diferentes de la dirección que está alineada con la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, mediante lo cual el objeto 1 puede cortarse con precisión a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Estos resultados son similares a los del cuarto ejemplo que se explicará posteriormente.

[Cuarto ejemplo, no cubierto por la presente invención]

40 El cuarto ejemplo, no cubierto por la presente invención, se explicará principalmente en términos de sus diferencias con respecto al tercer ejemplo. La figura 48 es un diagrama esquemático del presente aparato de procesamiento láser 300. Entre los constituyentes del aparato de procesamiento láser 300, se hará referencia a los constituyentes idénticos a los del aparato de procesamiento láser 200 de acuerdo con el tercer ejemplo que se muestra en la figura 40 con números idénticos a los mismos, sin repetir sus explicaciones solapadas.

45 El aparato de procesamiento láser 300 no está equipado con el regulador de giro de 90° 203 del tercer ejemplo. Una fase de eje  $\theta$  213 puede girar el plano X-Y de una mesa de montaje 107 alrededor de la dirección del espesor del objeto que va a procesarse 1. Esto hace que la polarización de la luz láser L emitida a partir del regulador de elipticidad 201 gire relativamente 90°.

50 Se explicará el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el cuarto ejemplo. Las operaciones de la etapa S101 a la etapa S123 en el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el tercer ejemplo que se muestra en la figura 43 también se llevan a cabo en el cuarto ejemplo. El funcionamiento de posterior etapa S125 no se lleva a cabo, debido a que el cuarto ejemplo no está equipado con el regulador de giro de 90° 203.

55 Después de la etapa S123, se lleva a cabo la operación de la etapa S127. Las operaciones que se llevan a cabo hasta el momento procesan el objeto 1, tal como se muestra en la figura 44, de una forma similar a la del tercer ejemplo. Después de eso, el controlador de fase 115 regula la fase de eje  $\theta$  213 con el fin de girar ésta 90°. El giro de la fase de eje  $\theta$  213 gira el objeto 1 90° en el plano X-Y. Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 49, puede darse lugar a que el eje mayor de polarización elíptica EP se alinee con una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, que corta la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 que ya ha completado la etapa de formación de la región modificada.

60 A continuación, como en la etapa S127, el objeto 1 se irradia con la luz láser, mediante lo cual se forman unas regiones procesadas fundidas en el interior del objeto que va a procesarse 1 a lo largo de unas líneas que van a cortarse 5 sucesivamente a partir del lado derecho. Por último, como en la etapa S133, el objeto 1 se corta,

mediante lo cual el objeto 1 se divide en microplacas de silicio.

Los ejemplos tercero y cuarto, no cubiertos por la presente invención que se explica en lo anterior, se refieren a la formación de regiones modificadas por absorción multifotónica. No obstante, la presente invención puede cortar el objeto que va a procesarse, irradiando éste con una luz láser mientras que se ubica su punto de convergencia de luz en el interior del objeto con el fin de hacer que la dirección del eje mayor de una elipse que indica una polarización elíptica se extienda a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en el objeto sin formar regiones modificadas producidas por absorción multifotónica. Esto puede cortar también el objeto a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar de forma eficiente.

[Quinto ejemplo]

En un quinto ejemplo de la presente invención y en unos ejemplos sexto y séptimo de la misma, que se explicarán posteriormente, los tamaños de los puntos modificados se controlan regulando la magnitud de la potencia de la luz láser por impulsos y el tamaño de la apertura numérica de un sistema óptico que incluye una lente convergente de luz. El punto modificado hace referencia a una parte modificada formada mediante una única descarga de impulso de la luz láser por impulsos (es decir, una irradiación láser de un impulso), mientras que un conjunto de puntos modificados forma una región modificada. La necesidad de controlar los tamaños de los puntos modificados se explicará con respecto a unos puntos de fisura a modo de ejemplo.

Cuando un punto de fisura es demasiado grande, disminuye la precisión del corte de un objeto que va a cortarse a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, y la planeidad de la sección transversal se deteriora. Esto se explicará con referencia a las figuras 50 a 55. La figura 50 es una vista en planta de un objeto que va a procesarse 1 en el caso en el que se forman unos puntos de fisura relativamente grandes, usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente realización. La figura 51 es una vista en sección que se toma a lo largo de la línea LI-LI sobre la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en la figura 50. Las figuras 52, 53, y 54 son unas vistas en sección que se toman a lo largo de las líneas LII-LII, LIII-LIII, y LIV-LIV ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en la figura 50, respectivamente. Tal como puede verse a partir de estos dibujos, la desviación en los tamaños de los puntos de fisura 9 se vuelve más grande cuando los puntos de fisura 90 son demasiado grandes. Por lo tanto, tal como se muestra en la figura 55, la precisión del corte del objeto 1 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 se vuelve más baja. Asimismo, las irregularidades de las secciones transversales 43 en el objeto 1 se vuelven tan grandes que la planeidad de la sección transversal 43 se deteriora. Cuando se forman unos puntos de fisura 90 relativamente pequeños (por ejemplo, 20  $\mu\text{m}$  o menos) usando el aparato de procesamiento láser de acuerdo con la presente realización, por el contrario, pueden formarse unos puntos de fisura 90 de manera uniforme y puede evitarse que se ensanchen en direcciones que se desvían de la de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar, tal como se muestra en la figura 56. Por lo tanto, tal como se muestra en la figura 57, puede mejorarse la precisión del corte del objeto 1 a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 y la planeidad de las secciones transversales 43, tal como se muestra en la figura 57.

Cuando los puntos de fisura son demasiado grandes en ese sentido, un corte preciso a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar y no puede llevarse a cabo el corte para proporcionar una sección transversal plana. Si los puntos de fisura son extremadamente pequeños con respecto a un objeto que va a procesarse con un gran espesor, no obstante, el objeto será difícil de cortar.

Se explicará el hecho de que la presente realización pueda controlar los tamaños de los puntos de fisura. Tal como se muestra en la figura 7, cuando la densidad de potencia máxima es la misma, el tamaño de un punto de fisura en el caso en el que la lente convergente de luz tiene un aumento de  $\times 10$  y una NA de 0,8 es más pequeño que el de un punto de fisura en el caso en el que la lente convergente de luz tiene un aumento de  $\times 50$  y una NA de 0,55. La densidad de potencia máxima es proporcional a la energía de la luz láser por impulso, es decir, la potencia de la luz láser por impulsos, tal como se explica anteriormente, mediante lo cual la misma densidad de potencia máxima pretende indicar la misma potencia luminosa del láser. Cuando la potencia luminosa del láser es la misma a la vez que el área en sección transversal del punto de haz es la misma, los tamaños de los puntos de fisura pueden regularse con el fin de volverse más pequeños (más grandes) a medida que la apertura numérica de una lente convergente de luz es más grande (más pequeña).

Asimismo, incluso cuando la apertura numérica de la lente convergente de luz es la misma, los tamaños de los puntos de fisura pueden regularse con el fin de volverse más pequeños y más grandes cuando se reduce y se aumenta la potencia luminosa (la densidad de potencia máxima) del láser, respectivamente.

Por lo tanto, tal como puede verse a partir de la gráfica que se muestra en la figura 7, los tamaños de los puntos de fisura pueden regularse con el fin de volverse más pequeños cuando la apertura numérica de una lente convergente de luz se hace más grande o la potencia luminosa del láser se reduce. Por el contrario, los tamaños de los puntos de fisura pueden regularse con el fin de volverse más grande cuando la apertura numérica de una lente convergente de luz se hace más pequeña o cuando la potencia luminosa del láser se hace más alta.

- El control de tamaño del punto de fisura se explicará adicionalmente con referencia a los dibujos. El ejemplo que se muestra en la figura 58 es una vista en sección de un objeto que va a procesarse 1 en el interior del cual se hace que una luz láser por impulsos L converja mediante el uso de una lente convergente de luz que tiene una apertura numérica predeterminada. Las regiones 41 son las que han proporcionado una intensidad de campo eléctrico a un umbral para dar lugar a una absorción multifotónica o más alta por esta irradiación láser. La figura 59 es una vista en sección de un punto de fisura 90, que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con la luz láser L. Por otro lado, el ejemplo que se muestra en la figura 60 es una vista en sección de un objeto que va a procesarse 1 en el interior del cual se hace que una luz láser por impulsos L converja mediante el uso de una lente convergente de luz que tiene una apertura numérica más grande que la del ejemplo que se muestra en la figura 58. La figura 61 es una vista en sección de un punto de fisura 90, que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con la luz láser L. La altura  $h$  del punto de fisura 90 depende del tamaño de las regiones 41 en la dirección del espesor del objeto 1, mientras que la anchura  $w$  del punto de fisura 90 depende del tamaño de las regiones 41 en una dirección ortogonal a la dirección del espesor del objeto 1. A saber, cuando estos tamaños de las regiones 41 se hacen más pequeños y más grandes, la altura  $h$  y la anchura  $w$  del punto de fisura 90 pueden hacerse más pequeña y más grande, respectivamente. Tal como puede verse cuando las figuras 59 y 61 se comparan una con otra, en el caso en el que la láser potencia luminosa es la misma, pueden regularse los tamaños de la altura  $h$  y la anchura  $w$  del punto de fisura 90, con el fin de volverse más pequeños (más grandes) cuando la apertura numérica de una lente convergente de luz se hace más grande (más pequeña).
- El ejemplo que se muestra en la figura 62 es una vista en sección de un objeto que va a procesarse 1 en el interior del cual se hace que converja una luz láser por impulsos L que tiene una potencia más baja que la del ejemplo que se muestra en la figura 58. En el ejemplo que se muestra en la figura 62, debido a que la potencia luminosa del láser se reduce, el área de las regiones 41 es más pequeña que la de las regiones 41 que se muestran en la figura 58. La figura 63 es una vista en sección de un punto de fisura 90, que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con la luz láser L. Tal como puede verse cuando las figuras 59 y 63 se comparan una con otra, en el caso en el que la apertura numérica de la lente convergente de luz es la misma, pueden regularse los tamaños de la altura  $h$  y la anchura  $w$  del punto de fisura 90, con el fin de volverse más pequeños (más grandes) cuando la potencia luminosa del láser se reduce (se aumenta).
- El ejemplo que se muestra en la figura 64 es una vista en sección de un objeto que va a procesarse 1 en el interior del cual se hace que converja una luz láser por impulsos L que tiene una potencia más baja que la del ejemplo que se muestra en la figura 60. La figura 65 es una vista en sección de un punto de fisura 90, que se forma debido a la absorción multifotónica producida por la irradiación con la luz láser L. Tal como puede verse cuando las figuras 59 y 65 se comparan una con otra, pueden regularse los tamaños de la altura  $h$  y la anchura  $w$  del punto de fisura 90, con el fin de volverse más pequeños (más grandes) cuando la apertura numérica de la lente convergente de luz se hace más grande (más pequeña) mientras que la potencia luminosa del láser se reduce (se aumenta).
- Mientras tanto, las regiones 41 que indican aquellas que proporcionan una intensidad de campo eléctrico a un umbral para intensidad de campo eléctrico capaz de la formación de un punto de fisura o más alta, se restringen al punto de convergencia de luz P y sus alrededores debido a la siguiente razón: Debido a que se utiliza una fuente de luz láser con una alta calidad de haz, la presente realización logra una alta convergencia de la luz láser y puede hacer que converja la luz hasta aproximadamente la longitud de onda de la luz láser. Como consecuencia, el perfil de haz de esta luz láser obtiene una distribución gaussiana, mediante lo cual la intensidad de campo eléctrico se distribuye con el fin de volverse la más alta en el centro del haz y gradualmente se reduce a medida que aumenta la distancia con respecto al centro. Se hace que la luz láser básicamente converja en el estado de una distribución gaussiana en el proceso de hacer, en la práctica, que también converja mediante una lente convergente de luz. Por lo tanto, las regiones 41 se restringen al punto de convergencia de luz P y sus alrededores.
- Al igual que en lo anterior, la presente realización puede controlar los tamaños de los puntos de fisura. Los tamaños de los puntos de fisura se determinan a la vista de un requisito de un grado de corte preciso, un requisito de un grado de planeidad en las secciones transversales, y la magnitud de espesor del objeto que va a procesarse. Los tamaños de los puntos de fisura pueden determinarse también, a la vista del material de un objeto que va a procesarse. La presente realización puede controlar los tamaños de los puntos modificados, haciendo de este modo posible llevar a cabo un corte preciso a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar y producir una planeidad favorable en las secciones transversales, haciendo los puntos modificados más pequeños para los objetos que van a procesarse con un espesor relativamente pequeño. Asimismo, haciendo puntos modificados más grandes, se permite el corte de objetos que van a procesarse con un espesor relativamente grande.
- Existen casos en los que un objeto que va a procesarse tiene unas direcciones fácil y difícil de cortar respectivas, debido a la orientación cristalina del objeto, por ejemplo. Al cortar un objeto de este tipo, el tamaño de los puntos de fisura 90 formados en la dirección fácil de cortar se hace más grande, tal como se muestra en las figuras 56 y 57, por ejemplo. Cuando la dirección de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar ortogonal a la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 es una dirección difícil de cortar, por otro lado, el tamaño de los puntos de fisura 90 formados en esta dirección se hace más grande, tal como se muestra en las figuras 57 y 66. En el presente caso, la figura 66 es una vista en sección del objeto 1 que se muestra en la figura 57 que se toma a lo

largo de la línea LXVI–LXVI. Por lo tanto, puede obtenerse una sección transversal plana en la dirección fácil de cortar, mientras que el corte es también posible en la dirección difícil de cortar.

5 A pesar de que se ha explicado el hecho de que los tamaños de los puntos modificados pueden controlarse en el caso de los puntos de fisura, lo mismo sigue siendo cierto en los puntos de fusión y los puntos de cambio de índice de refracción. Por ejemplo, la potencia de la luz láser por impulsos puede expresarse en energía por impulso (J), o salida promedio (W), que es un valor obtenido multiplicando la energía por impulso por la frecuencia de luz láser. Lo anterior sigue siendo cierto en los ejemplos sexto y séptimo, que se explicarán posteriormente.

10 Se explicará el aparato de procesamiento láser. La figura 67 es un diagrama esquemático del presente aparato de procesamiento láser 400. El aparato de procesamiento láser 400 se explicará principalmente en términos de sus diferencias con respecto al aparato de procesamiento láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 14.

15 El aparato de procesamiento láser 400 comprende un regulador de potencia 401 para ajustar la potencia de la luz láser L emitida a partir de una fuente de luz láser 101. El regulador de potencia 401 comprende, por ejemplo, una pluralidad de filtros de ND (densidad neutra), y un mecanismo para mover los filtros de ND individuales hasta unas posiciones perpendiculares al eje óptico de la luz láser L y hacia el exterior de la trayectoria óptica de la luz láser L. Un filtro de ND es un filtro que reduce la intensidad de la luz sin cambiar la distribución espectral relativa de la energía. Una pluralidad de filtros de ND tienen unos factores de extinción respectivos diferentes entre sí. Usando uno de una pluralidad de filtros de ND o combinando algunos de los mismos, el regulador de potencia 401 ajusta la potencia de la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101. En el presente caso, una pluralidad de filtros de ND puede tener el mismo factor de extinción, y el regulador de potencia 401 puede cambiar el número de filtros de ND que van a moverse hasta unas posiciones perpendiculares al eje óptico de la luz láser L, con el fin de ajustar la potencia de la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101.

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

30 En el presente caso, la corriente de accionamiento para un láser de semiconductor de bombeo en la fuente de luz láser 101 puede regularse por un controlador de fuente de luz láser 102 que es un ejemplo de unos medios de control de corriente de accionamiento, con el fin de regular la potencia de la luz láser L emitida a partir de la fuente de luz láser 101. Por lo tanto, la potencia de la luz láser L puede ajustarse mediante al menos uno del regulador de potencia 401 y el controlador de fuente de luz láser 102. Si el tamaño de una región modificada puede alcanzar un valor deseable debido al ajuste de la potencia de la luz láser L por el controlador de fuente de luz láser 102 solo, el regulador de potencia 401 no es necesario. El ajuste de potencia que se explica en lo anterior se efectúa cuando un operador del aparato de procesamiento láser introduce la magnitud de la potencia en un controlador global 127, lo cual se explicará posteriormente, usando un teclado o similar.

45 El aparato de procesamiento láser 400 comprende además un espejo dicróico 103 que se dispone de tal modo que la luz láser L cuya potencia se ajusta mediante el regulador de potencia 401 está incidiendo sobre el mismo, mientras que la orientación del eje óptico de la luz láser L se cambia 90°; un mecanismo de selección de lente 403 que incluye una pluralidad de lentes convergentes de luz para hacer que converja la luz láser L que refleja el espejo dicróico 103; y un controlador de mecanismo de selección de lente 405 para controlar el mecanismo de selección de lente 403.

50 El mecanismo de selección de lente 403 comprende unas lentes convergentes de luz 105a, 105b, 105c, y una placa de soporte 407 para soportar las mismas. Las aperturas numéricas de los sistemas ópticos respectivos, incluyendo las lentes convergentes de luz 105a, 105b, 105c, se diferencian entre sí. De acuerdo con una señal procedente del controlador de mecanismo de selección de lente 405, el mecanismo de selección de lente 403 gira la placa de soporte 407, dando lugar de este modo a que una lente convergente de luz deseable de entre las lentes convergentes de luz 105a, 105b, 105c se coloque sobre el eje óptico de la luz láser L. A saber, el mecanismo de selección de lente 403 es de tipo revólver.

60 El número de lentes convergentes de luz acopladas al mecanismo de selección de lente 403 no se limita a 3, sino que puede ser otros números. Cuando el operador del aparato de procesamiento láser introduce un tamaño de la apertura numérica o una instrucción para elegir una de las lentes convergentes de luz 105a, 105b, 105c en el controlador global 127, lo cual se explicará posteriormente, usando un teclado o similar, se elige la lente convergente de luz, a saber, se elige la apertura numérica.

65 Montado sobre la mesa de montaje 107 del aparato de procesamiento láser 400 es un objeto que va a procesarse 1 que se irradia con la luz láser L la cual se hace que converja por una de las lentes convergentes de luz 105a a 105c que se dispone sobre el eje óptico de la luz láser L.

El controlador global 127 se conecta eléctricamente al regulador de potencia 401. La figura 67 no representa esto. Cuando la magnitud de la potencia se introduce en el controlador global 127, este último controla el regulador de potencia 401, ajustando de este modo la potencia.

5 La figura 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 correlaciones 413 y una sección de preparación de imagen 415. El operador del aparato de procesamiento láser introduce la magnitud de la potencia de la luz láser por impulsos, o el tamaño de la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente convergente de luz, en el selector de tamaño 411, usando un teclado o similar. En el presente ejemplo, la  
10 entrada puede elegir una de las lentes convergentes de luz 105a, 105b, 105c en lugar de introducirse directamente el tamaño de la apertura numérica. En el presente caso, las aperturas numéricas respectivas de las lentes convergentes de luz 105a, 105b, 105c se registran en el controlador global 127 de antemano, y los datos de la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente convergente de luz elegida se introducen automáticamente en el selector de tamaño 411.

15 La sección de almacenamiento de correlaciones 413 ha almacenado la correlación entre el conjunto de la magnitud de potencia de impulso láser y el tamaño de la apertura numérica y el tamaño de un punto modificado de antemano. La figura 69 es un ejemplo de una tabla que muestra esta correlación. En el presente ejemplo, se registran las aperturas numéricas respectivas de los sistemas ópticos, incluyendo las lentes convergentes de luz 105a, 105b, 20 105c en la columna para la apertura numérica. En la columna para la potencia, se registran las magnitudes de la potencia obtenida por el regulador de potencia 401. En la columna para el tamaño, se registran los tamaños de los puntos modificados formados por combinaciones de las potencias de sus aperturas numéricas y conjuntos correspondientes. Por ejemplo, el punto modificado que se forma cuando la potencia es  $1,24 \times 10^{11}$  (W/cm<sup>2</sup>) mientras que la apertura numérica es 0,55 tiene un tamaño de 120 μm. Los datos de esta correlación pueden  
25 obtenerse llevando a cabo los experimentos que se explican en las figuras 58 a 65 antes del procesamiento láser, por ejemplo.

30 Cuando la magnitud de la potencia y el tamaño de la apertura numérica se introducen en el selector de tamaño 411, este último elige el conjunto que tiene sus valores correspondientes a partir de la sección de almacenamiento de correlaciones 413, y envía los datos de tamaño que se corresponden con el presente conjunto al monitor 129. Como consecuencia, el tamaño de un punto modificado que se forma en la magnitud introducida de este modo de la potencia y el tamaño de la apertura numérica se visualiza en el monitor 129. Si no existe conjunto alguno que se corresponda con estos valores, se envían al monitor 129 los datos de tamaño que se corresponden con un conjunto que tiene los valores más cercanos.

35 Los datos de tamaño que se corresponden con el conjunto que elige 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 preparados de este modo al monitor 129. Como consecuencia, una imagen del punto modificado se  
40 visualiza también en el monitor 129. Por lo tanto, pueden verse el tamaño y la forma del punto modificado antes del procesamiento láser.

45 El tamaño de la apertura numérica puede hacerse variable, mientras que se fija la magnitud de la potencia. La tabla en el presente caso será tal como se muestra en la figura 70. Por ejemplo, el punto modificado que se forma cuando la apertura numérica es 0,55 mientras que la potencia se fija a  $1,49 \times 10^{11}$  (W/cm<sup>2</sup>) tiene un tamaño de 150 μm. Alternativamente, la magnitud de la potencia puede hacerse variable, mientras que se fija el tamaño de la apertura numérica. La tabla en el presente caso será tal como se muestra en la figura 71. Por ejemplo, el punto modificado que se forma cuando la potencia se fija a  $1,19 \times 10^{11}$  (W/cm<sup>2</sup>) mientras que la apertura numérica se fija a 0,8 tiene un tamaño de 30 μm.

50 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el quinto ejemplo de la presente realización se explicará a continuación con referencia a la figura 67. El objeto que va a procesarse 1 es una oblea de silicio. En el quinto ejemplo, las operaciones de las etapas S101 a S111 se llevan a cabo como en el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 15.

55 Después de la etapa S111, la magnitud de la potencia y el tamaño de la apertura numérica se introducen en el controlador global 127 tal como se explica anteriormente. De acuerdo con los datos de potencia introducidos, la potencia de la luz láser L se ajusta mediante el regulador de potencia 401. De acuerdo con los datos de la apertura numérica introducidos, el mecanismo de selección de lente 403 elige una lente convergente de luz por medio del controlador de mecanismo de selección de lente 405, ajustando de este modo la apertura numérica. Estos datos se  
60 introducen también en el selector de tamaño 411 del controlador global 127 (figura 68). Como consecuencia, el tamaño y la forma de un punto de fusión formado en el interior del objeto 1 tras su irradiación de un impulso de la luz láser L se visualizan en el monitor 129.

65 A continuación, las operaciones de las etapas S113 a S115 se llevan a cabo como en el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 15. Esto divide el objeto 1 en

microplacas de silicio.

[Sexto ejemplo]

5 Un sexto ejemplo de la presente invención se explicará a continuación, principalmente en términos de sus diferencias con respecto al quinto ejemplo. La figura 72 es un diagrama esquemático del presente aparato de procesamiento láser 500. Entre los constituyentes del aparato de procesamiento láser 500, se hace referencia a los constituyentes idénticos a los del aparato de procesamiento láser 400 de acuerdo con el quinto ejemplo que se muestra en la figura 67 con números idénticos a los mismos, sin repetir sus explicaciones solapadas.

10 En el aparato de procesamiento láser 500, un expansor de haz 501 se dispone sobre el eje óptico de la luz láser L entre un regulador de potencia 401 y un espejo dicróico 103. El expansor de haz 501 tiene un aumento variable, y se regula mediante el expansor de haz 501 con el fin de aumentar el haz diámetro de la luz láser L. El expansor de haz 501 es un ejemplo de unos medios de regulación de apertura numérica. El aparato de procesamiento láser 500 está  
15 equipado con una única lente convergente de luz 105 en lugar del mecanismo de selección de lente 403.

Las operaciones del aparato de procesamiento láser 500 se diferencian de las del aparato de procesamiento láser del quinto ejemplo en el ajuste de la apertura numérica basado en la magnitud de la apertura numérica que se introduce en el controlador global 127. Esto se explicará en lo que sigue. El controlador global 127 se conecta eléctricamente al expansor de haz 501. La figura 72 no muestra esto. Cuando el tamaño de la apertura numérica se introduce en el controlador global 127, este último lleva a cabo el control para cambiar la magnitud del expansor de haz 501. Esto regula el diámetro de aumento de haz de la luz láser L que incide sobre la lente convergente de luz 105. Por lo tanto, con sólo una lente convergente de luz 105, es posible un ajuste para aumentar la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente convergente de luz 105. Esto se explicará con referencia a las  
20 figuras 73 y 74.

La figura 73 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L que efectúa la lente convergente de luz 105 cuando no se prevé el expansor de haz 501. Por otro lado, la figura 74 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L que efectúa la lente convergente de luz 105 cuando se prevé el expansor de haz 501. Tal como puede verse cuando las figuras 73 y 74 se comparan una con otra, el sexto ejemplo puede lograr un ajuste con el fin de  
30 aumentar la apertura numérica con referencia a la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente convergente de luz 105 en el caso en el que no se prevé el expansor de haz 501.

[Séptimo ejemplo]

35 Un séptimo ejemplo de la presente invención se explicará a continuación, principalmente en términos de sus diferencias con respecto a los ejemplos quinto y sexto. La figura 75 es un diagrama esquemático del presente aparato de procesamiento láser 600. Entre los constituyentes del aparato de procesamiento láser 600, se hace referencia a los constituyentes idénticos a los del aparato de procesamiento láser de acuerdo con los ejemplos quinto y sexto con números idénticos a los mismos, sin repetir sus explicaciones solapadas.

En el aparato de procesamiento láser 600, un diafragma de iris 601 se dispone sobre el eje óptico de la luz láser L en lugar del expansor de haz 501, entre un espejo dicróico 103 y una lente convergente de luz 105. El cambio del tamaño de la apertura del diafragma de iris 601 ajusta el diámetro efectivo de la lente convergente de luz 105. El diafragma de iris 601 es un ejemplo de unos medios de regulación de apertura numérica. El aparato de procesamiento láser 600 comprende además un controlador de diafragma de iris 603 para cambiar el tamaño de la apertura del diafragma de iris 601. El controlador de diafragma de iris 603 se controla mediante un controlador global 127.  
45

50 Las operaciones del aparato de procesamiento láser 600 se diferencian de las del aparato de procesamiento láser de los ejemplos quinto y sexto en el ajuste de la apertura numérica basado en el tamaño de la apertura numérica que se introduce en el controlador global 127. De acuerdo con el tamaño introducido de la apertura numérica, el aparato de procesamiento láser 600 cambia el tamaño de la apertura del diafragma de iris 601, llevando a cabo de este modo el ajuste para disminuir el diámetro efectivo de la lente convergente de luz 105. Por lo tanto, con sólo una  
55 lente convergente de luz 105, es posible un ajuste para disminuir la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente convergente de luz 105. Esto se explicará con referencia a las figuras 76 y 77.

La figura 76 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L que efectúa la lente convergente de luz 105 cuando no se prevé un diafragma de iris. Por otro lado, la figura 77 es una vista que muestra la convergencia de la luz láser L que efectúa la lente convergente de luz 105 cuando se prevé el diafragma de iris 601. Tal como puede verse cuando las figuras 76 y 77 se comparan una con otra, el séptimo ejemplo puede lograr un ajuste con el fin de  
60 aumentar la apertura numérica con referencia a la apertura numérica del sistema óptico que incluye la lente convergente de luz 105 en el caso en el que no se prevé el diafragma de iris.

65 A continuación se explicará unos ejemplos modificados de los ejemplos quinto a séptimo de la presente realización. La figura 78 es un diagrama de bloques del controlador global 127 previsto en un ejemplo modificado del aparato de

procesamiento láser de acuerdo con la presente realización. El controlador global 127 comprende un selector de potencia 417 y una sección de almacenamiento de correlaciones 413. La sección de almacenamiento de correlaciones 413 ya ha almacenado los datos de correlación que se muestran en la figura 71. Un operador del aparato de procesamiento láser introduce un tamaño deseable de un punto modificado en el selector de potencia 417 mediante un teclado o similar. El tamaño de un punto modificado se determina a la vista del espesor y el material del objeto que va a modificarse y similar. De acuerdo con esta entrada, el selector de potencia 417 elige una potencia que se corresponde con el valor de tamaño idéntico al tamaño introducido de este modo a partir de la sección de almacenamiento de correlaciones 413, y envía ésta al regulador de potencia 401. Por lo tanto, cuando el aparato de procesamiento láser regulado a esta magnitud de la potencia se usa para el procesamiento láser, puede formarse un punto modificado que tiene un tamaño deseable. Los datos que conciernen a esta magnitud de la potencia se envían también al monitor 129, mediante lo cual se visualiza la magnitud de la potencia. En el presente ejemplo, la apertura numérica se fija mientras que potencia es variable. Si no se almacena tamaño alguno en el valor idéntico al valor introducido de este modo en la sección de almacenamiento de correlaciones 413, los datos de potencia que se corresponden con un tamaño que tiene el valor más cercano se envían al regulador de potencia 401 y el monitor 129. Esto es lo mismo en los ejemplos modificados que se explican en lo que sigue.

La figura 79 es un diagrama de bloques del controlador global 127 previsto en otro ejemplo modificado del aparato de procesamiento láser de acuerdo con la presente realización. El controlador global 127 comprende un selector de apertura numérica 419 y una sección de almacenamiento de correlaciones 413. Se diferencia del ejemplo modificado de la figura 78 en que se elige la apertura numérica en lugar de la potencia. La sección de almacenamiento de correlaciones 413 ya ha almacenado los datos que se muestran en la figura 70. Un operador del aparato de procesamiento láser introduce un tamaño deseable de un punto modificado en el selector de apertura numérica 419, usando un teclado o similar. Como consecuencia, el selector de apertura numérica 419 elige una apertura numérica que se corresponde con un tamaño que tiene un valor idéntico al del tamaño introducido a partir de la sección de almacenamiento de correlaciones 413, y envía los datos de esta apertura numérica al controlador de mecanismo de selección de lente 405, el expansor de haz 501 o el controlador de diafragma de iris 603. Por lo tanto, cuando se usa el aparato de procesamiento láser regulado a este tamaño de la apertura numérica para el procesamiento láser, puede formarse un punto modificado que tiene un tamaño deseable. Los datos que conciernen a esta apertura numérica se envían también al monitor 129, mediante lo cual se visualiza el tamaño de la apertura numérica. En el presente ejemplo, la potencia se fija mientras que la apertura numérica es variable.

La figura 80 es un diagrama de bloques del controlador global 127 previsto en otro ejemplo modificado más del aparato de procesamiento láser de acuerdo con la presente realización. El controlador global 127 comprende un selector de conjunto 421 y una sección de almacenamiento de correlaciones 413. Se diferencia de los ejemplos de las figuras 78 y 79 en que se eligen tanto la potencia como la apertura numérica. La sección de almacenamiento de correlaciones 413 ha almacenado la correlación entre el conjunto de potencia y la apertura numérica y el tamaño en la figura 69 de antemano. Un operador del aparato de procesamiento láser introduce un tamaño deseable de un punto modificado en el selector de conjunto 421, usando un teclado o similar. Como consecuencia, el selector de conjunto 421 elige un conjunto de potencia y una apertura numérica que se corresponde con el tamaño introducido de este modo a partir de la sección de almacenamiento de correlaciones 413. Los datos de potencia en el conjunto elegido de este modo se envían al regulador de potencia 401. Por otro lado, los datos de apertura numérica en el conjunto elegido se envían al controlador de mecanismo de selección de lente 405, el expansor de haz 501 o el controlador de diafragma de iris 603. Por lo tanto, cuando el aparato de procesamiento láser regulado a la potencia y la apertura numérica del presente conjunto se usa para el procesamiento láser, puede formarse un punto modificado que tiene un tamaño deseable. Los datos que conciernen a la magnitud de la potencia y al tamaño de la apertura numérica se envían también al monitor 129, mediante lo cual se visualiza la magnitud de la potencia y el tamaño de la apertura numérica.

Los presentes ejemplos modificados pueden controlar los tamaños de los puntos modificados. Por lo tanto, cuando el tamaño de un punto modificado se hace más pequeño, el objeto que va a procesarse puede cortarse con precisión a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar en su interior, y puede obtenerse una sección transversal plana. Cuando el objeto que va a cortarse tiene un gran espesor, el tamaño de un punto modificado puede potenciarse, mediante lo cual puede cortarse el objeto.

55 [Octavo ejemplo]

Un octavo ejemplo de la presente invención controla la distancia entre un punto modificado que se forma por un impulso de luz láser y un punto modificado formado por el siguiente impulso de la luz láser por impulsos regulando la magnitud de una frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos y la magnitud de la velocidad de movimiento relativa del punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos. A saber, éste controla la distancia entre los puntos modificados adyacentes. En la siguiente explicación, se supone que la distancia es un paso  $p$ . El control del paso  $p$  se explicará en términos de una región de fisura a modo de ejemplo.

65 Sea  $f$  (Hz) la frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos, y sea  $v$  (mm/s) la velocidad de movimiento de la fase de eje X o la fase de eje Y del objeto que va a procesarse. Las velocidades de movimiento de estas fases son ejemplos de la velocidad de movimiento relativa del punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos. Se

hace referencia a la parte de fisura formada mediante una descarga de la luz láser por impulsos como punto de fisura. Por lo tanto, el número  $n$  de puntos de fisura formados por unidad de longitud de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 es tal como sigue:

5 
$$n = f/v$$

El inverso del número  $n$  de puntos de fisura formados por unidad de longitud se corresponde con el paso  $p$ :

10 
$$p = 1/n$$

Por lo tanto, el paso  $p$  puede controlarse cuando se regula al menos una de la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos y la magnitud de la velocidad de movimiento relativa del punto de convergencia de luz. A saber, el paso  $p$  puede controlarse con el fin de volverse más pequeño cuando se aumenta la frecuencia de repetición  $f$  (Hz) o cuando se disminuye la velocidad de movimiento de fase  $v$  (mm/s). Por el contrario, el paso  $p$  puede controlarse con el fin de volverse más grande cuando se disminuye la frecuencia de repetición  $f$  (Hz) o cuando se aumenta la velocidad de movimiento de fase  $v$  (mm/s).

Mientras tanto, existen tres formas de relación entre el paso  $p$  y el tamaño del punto de fisura en la dirección de línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, tal como se muestra en las figuras 81 a 83. Las figuras 81 a 83 son unas vistas en planta de un objeto que va a procesarse a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, que se forma con una región de fisura mediante el procesamiento láser de acuerdo con la presente realización. Un punto de fisura 90 se forma mediante un impulso de la luz láser por impulsos. La formación de una pluralidad de puntos de fisura 90 que están alineados entre sí a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 produce una región de fisura 9.

La figura 81 muestra un caso en el que el paso  $p$  es más grande que el tamaño  $d$ . La región de fisura 9 se forma de forma discontinua a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el interior del objeto que va a procesarse. La figura 82 muestra un caso en el que el paso  $p$  es sustancialmente igual al tamaño  $d$ . La región de fisura 9 se forma de forma continua a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el interior del objeto que va a procesarse. La figura 83 muestra un caso en el que el paso  $p$  es más pequeño que el tamaño  $d$ . La región de fisura 9 se forma de forma continua a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el interior del objeto que va a procesarse.

En la figura 81, la región de fisura 9 no es continua a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, mediante lo cual la parte de línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 mantiene un cierto grado de resistencia. Por lo tanto, cuando se lleva a cabo una etapa de corte del objeto que va a procesarse tras el procesamiento láser, el manejo del objeto se vuelve más fácil. En las figuras 82 y 83, la región de fisura 9 se forma de manera continua a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, lo que hace fácil de cortar el objeto mientras que se usa la región de fisura 9 como punto inicial.

El paso  $p$  se hace más grande que el tamaño  $d$  en la figura 81, y es sustancialmente igual al tamaño  $d$  en la figura 82, mediante lo cual puede evitarse que las regiones que generan absorción multifotónica tras su irradiación con una luz láser por impulsos se superpongan sobre los puntos de fisura 90 que ya se han formado. Como resultado, las desviaciones en los tamaños de los puntos de fisura 90 pueden hacerse más pequeñas. A saber, el inventor de la presente invención ha descubierto que, cuando una región que genera una absorción multifotónica tras su irradiación con una luz láser por impulsos se superpone sobre los puntos de fisura 90 que ya se han formado, las desviaciones en los tamaños de los puntos de fisura 90 formados en esta región se vuelven más grandes. Cuando las desviaciones en los tamaños de los puntos de fisura 90 se vuelven más grandes, se vuelve más difícil cortar el objeto a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar con precisión, y la planeidad de sección transversal se deteriora. En las figuras 81 y 82, las desviaciones en los tamaños de los puntos de fisura pueden hacerse más pequeñas, mediante lo cual el objeto que va a procesarse puede cortarse a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar con precisión, mientras que las secciones transversales pueden hacerse planas.

Tal como se explica en lo anterior, el octavo ejemplo de la presente realización puede controlar el paso  $p$  regulando la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos o la magnitud de la velocidad de movimiento relativa del punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos. Esto permite un procesamiento láser en conformidad con el objeto que va a procesarse, cambiando el paso  $p$  a la vista del espesor y el material del objeto y similar.

A pesar de que el hecho de que el paso  $p$  puede controlarse se explica en el caso de los puntos de fisura, lo mismo sigue siendo cierto en los puntos de fusión y los puntos de cambio de índice de refracción. No obstante, no existen problemas incluso cuando los puntos de fusión y los puntos de cambio de índice de refracción se superponen sobre los que ya se han formado. El movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos puede realizarse mediante un caso en el que el objeto que va a procesarse se mueve mientras que se fija el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos, un caso en el que el punto de convergencia de luz de la luz



láser por impulsos se mueve mientras que el objeto se fija, un caso en el que el objeto y el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos se mueven en direcciones opuestas entre sí, y un caso en el que el objeto y el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos se mueven en la misma dirección con sus velocidades respectivas diferentes entre sí.

5 Con referencia a la figura 14, se explicará el aparato de procesamiento láser, principalmente en términos de sus diferencias con respecto al aparato de procesamiento láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 14. La fuente de luz láser 101 es un láser de conmutación de Q. La figura 84 es un diagrama esquemático del láser de conmutación de Q previsto en una fuente de luz láser 101. El láser de conmutación de Q comprende  
10 unos espejos 51, 53 que se disponen con un hueco predeterminado entre los mismos, un medio láser 55 que se dispone entre los espejos 51 y 53, una fuente de bombeo 57 para aplicar una entrada de bombeo al medio láser 55, y un conmutador de Q 59 que se dispone entre el medio láser 55 y el espejo 51. El material del medio láser 55 es Nd: YAG, por ejemplo.

15 Una entrada de bombeo se aplica desde la fuente de bombeo 57 al medio láser 55, en un estado en el que la pérdida en un resonador se hace alta utilizando el conmutador de Q 59, mediante lo cual la inversión de población del medio láser 55 se eleva hasta un valor predeterminado. Después de eso, el conmutador de Q 59 se utiliza para colocar el resonador en un estado con una baja pérdida, con el fin de hacer que la energía acumulada oscile instantáneamente y generar una luz láser por impulsos L. Una señal S (por ejemplo, un cambio en una frecuencia de repetición de un impulso ultrasónico) a partir de un controlador de fuente de luz láser 102 controla el conmutador de Q 59 con el fin de hacer que éste obtenga un estado elevado. Por lo tanto, la señal S a partir del controlador de fuente de luz láser 102 puede regular la frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos L emitida a partir de la fuente de luz láser 101. El controlador de fuente de luz láser 102 es un ejemplo de unos medios de ajuste de frecuencia. La frecuencia de repetición se regula cuando un operador del aparato de procesamiento láser introduce  
20 la magnitud de la frecuencia de repetición en un controlador global 127, lo cual se explicará posteriormente, usando un teclado o similar. Lo anterior son detalles de la fuente de luz láser 101.

Durante el procesamiento láser, el objeto que va a procesarse 1 se mueve en la dirección del eje X o Y, con el fin de formar una región modificada a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar. Por lo tanto,  
30 cuando se forma una región modificada en la dirección del eje X, la velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser puede ajustarse regulando la velocidad de movimiento de la fase de eje X 109. Cuando se forma una región 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 puede ajustarse regulando la velocidad de movimiento de la fase de eje Y 111. El ajuste de las velocidades respectivas de movimiento de estas fases se controla mediante el controlador de fase 115. El controlador de fase 115 es un ejemplo de unos medios de ajuste de velocidad. La velocidad se regula cuando el operador del aparato de procesamiento láser introduce la magnitud de la velocidad en el controlador global 127, lo cual se explicará posteriormente, usando un teclado o similar. La velocidad de movimiento relativo del punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos puede ajustarse cuando se regula su velocidad de movimiento mientras que el punto de convergencia de luz P se hace móvil.

40 El controlador global 127 del aparato de procesamiento láser de acuerdo con el octavo ejemplo añade además otras funciones al controlador global 127 del aparato de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo. La figura 85 es un diagrama de bloques que muestra una parte de un ejemplo del controlador global 127 del aparato de procesamiento 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 introducen la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos y las magnitudes respectivas de las velocidades de movimiento de las fases 109, 111. Éstas entradas se efectúan por el operador del aparato de procesamiento láser, usando un teclado o similar.

50 La sección de cálculo de distancia 141 calcula la distancia (el paso) entre puntos adyacentes utilizando las expresiones que se mencionan anteriormente ( $n = f/v$ , y  $p = 1/n$ ). La sección de cálculo de distancia 141 envía estos datos de distancia al monitor 129. Como consecuencia, la distancia entre los puntos modificados que se forman en las magnitudes introducidas de la frecuencia y velocidad se visualiza en el monitor 129.

55 Los datos de distancia se envían también a la sección de preparación de imagen 145. La sección de almacenamiento de tamaño 143 ya ha almacenado en su interior los tamaños de los puntos modificados que se forman en el presente aparato de procesamiento 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 los datos de imagen de una región modificada formada mediante la distancia y el tamaño, y envía los datos preparados de imagen de este modo al monitor 129. Como consecuencia, una imagen de la región modificada se visualiza también en el monitor 129. Por lo tanto, la distancia entre los puntos modificados adyacentes y la forma de la región modificada pueden verse antes del procesamiento láser.

65 A pesar de que la sección de cálculo de distancia 141 calcula la distancia entre los puntos modificados utilizando las expresiones ( $n = f/v$ , y  $p = 1/n$ ), el siguiente procedimiento puede adoptarse también. En primer lugar, se prepara una tabla que ha registrado la relación entre la magnitud de la frecuencia de repetición, las velocidades de

movimiento de las fases 109, 111 y la distancia entre los puntos modificados de antemano y se da lugar a que la sección de cálculo de distancia 141 almacene datos de esta tabla. Cuando la magnitud de la frecuencia de repetición y las magnitudes de las velocidades de movimiento de las fases 109, 111 se introducen en la sección de cálculo de distancia 141, esta última recupera de la tabla que se menciona anteriormente la distancia entre los puntos modificados en los puntos modificados que se forman con la condición de estas magnitudes.

En el presente caso, las magnitudes de las velocidades de movimiento de fase pueden hacerse variables, mientras que se fija la magnitud de la frecuencia de repetición. Por el contrario, la magnitud de la frecuencia de repetición puede hacerse variable, mientras que se fijan las magnitudes de las velocidades de movimiento de fase. Asimismo, en los presentes casos, las expresiones y la tabla que se mencionan anteriormente se usan en la sección de cálculo de distancia 141 para llevar a cabo el procesamiento que dé lugar a que el monitor 129 visualice la distancia entre los puntos modificados y una imagen de la región modificada.

Al igual que en lo anterior, el controlador global 127 que se muestra en la figura 85 introduce la magnitud de la frecuencia de repetición y las velocidades de movimiento de fase, calculando de este modo la distancia entre los puntos modificados adyacentes. Alternativamente, puede introducirse una distancia deseable entre los puntos modificados adyacentes, y puede controlarse la magnitud de la frecuencia de repetición y las magnitudes de las velocidades de movimiento de fase. Este procedimiento se explicará en lo que sigue.

La figura 86 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo del controlador global 127 previsto en el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de frecuencia 147. El operador del aparato de procesamiento láser introduce la magnitud de distancia entre los puntos modificados adyacentes a la sección de cálculo de frecuencia 147, usando un teclado o similar. La magnitud de distancia se determina a la vista del espesor y el material del objeto que va a procesarse y similar. Tras esta entrada, la sección de cálculo de frecuencia 147 calcula una frecuencia para obtener esta magnitud de distancia de acuerdo con las expresiones y las tablas que se mencionan anteriormente. En el presente ejemplo se fijan las velocidades de movimiento de fase. La sección de cálculo de frecuencia 147 envía unos datos calculados de este modo al controlador de fuente de luz láser 102. Cuando el objeto que va a procesarse se somete a un procesamiento láser por el aparato de procesamiento láser regulado a esta magnitud de frecuencia, la distancia entre los puntos modificados adyacentes puede alcanzar una magnitud deseable. Los datos de esta magnitud de frecuencia se envían también al monitor 129, mediante lo cual se visualiza esta magnitud de frecuencia.

La figura 87 es un diagrama de bloques que muestra por separado de otro ejemplo más el controlador global 127 previsto en el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de velocidad 149. De una forma similar a la mencionada anteriormente, la magnitud de distancia entre los puntos modificados adyacentes se introduce en la sección de cálculo de velocidad 149. Tras esta entrada, la sección de cálculo de velocidad 149 calcula una velocidad de movimiento de fase para obtener esta magnitud de distancia de acuerdo con las expresiones y las tablas que se mencionan anteriormente. En el presente ejemplo se fija la frecuencia de repetición. La sección de cálculo de velocidad 149 envía unos datos calculados de este modo al controlador de fase 115. Cuando el objeto que va a procesarse se somete a un procesamiento láser por el aparato de procesamiento láser regulado a esta magnitud de la velocidad de movimiento de fase, la distancia entre los puntos modificados adyacentes puede alcanzar una magnitud deseable. Los datos de esta magnitud de la velocidad de movimiento de fase se envían también al monitor 129, mediante lo cual esta magnitud de la velocidad de movimiento de fase se visualiza.

La figura 88 es un diagrama de bloques que muestra una parte de otro ejemplo más del controlador global 127 previsto en el octavo ejemplo. El controlador global 127 comprende una sección de cálculo de combinación 151. Se diferencia de los casos de las figuras 86 y 87 en que se calculan tanto la frecuencia de repetición como la velocidad de movimiento de fase. De una forma similar a la mencionada anteriormente, la distancia entre los puntos modificados adyacentes se introduce en la sección de cálculo de combinación 151. De acuerdo con las expresiones y las tablas que se mencionan anteriormente, la sección de cálculo de combinación 151 calcula una frecuencia de repetición y una velocidad de movimiento de fase para obtener esta magnitud de distancia.

La sección de cálculo de combinación 151 envía unos datos calculados de este modo al controlador de fase 115. El controlador de fuente de luz láser 102 ajusta la fuente de luz láser 101 con el fin de obtener la magnitud calculada de la frecuencia de repetición. El controlador de fase 115 ajusta las fases 109, 111 con el fin de obtener la magnitud calculada de la velocidad de movimiento de fase. Cuando el objeto que va a procesarse se somete a un procesamiento láser mediante el aparato de procesamiento láser regulado de este modo, la distancia entre los puntos modificados adyacentes puede alcanzar una magnitud deseable. Los datos de la magnitud de la frecuencia de repetición y la magnitud de la velocidad de movimiento de fase calculadas de este modo se envían también al monitor 129, mediante lo cual se visualizan unos valores calculados de este modo.

El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el octavo ejemplo de la presente invención se explicará a continuación. El objeto que va a procesarse 1 es una oblea de silicio. En el octavo ejemplo, las operaciones a partir de las etapas S101 a S111 se llevan a cabo de una forma similar a la del procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 15.

Después de la etapa S111, se determina la distancia entre los puntos de fusión adyacentes en los puntos de fusión formados por un impulso de impulso láser, es decir, la magnitud de paso p. El paso p se determina a la vista del espesor y el material del objeto 1 y similar. La magnitud de paso p se introduce en el controlador global 127 que se muestra en la figura 88.

5 A continuación, de una forma similar a la del procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 15, se llevan a cabo las operaciones de la etapa S113 a S115. Esto divide el objeto 1 en microplacas de silicio.

10 Tal como se explica en lo anterior, el octavo ejemplo puede controlar la distancia entre los puntos de fusión adyacentes regulando la magnitud de la frecuencia de repetición de la luz láser por impulsos, y regulando las magnitudes de las velocidades de movimiento de la fase de eje X 109 y la fase de eje Y 111. El cambio de la magnitud de distancia a la vista del espesor y el material del objeto 1 y similar permite un procesamiento en conformidad con el fin previsto.

15 [Noveno ejemplo]

Un noveno ejemplo de la presente invención cambia la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser que irradia el objeto que va a procesarse en la dirección de incidencia sobre el objeto, formando de este modo una pluralidad de regiones modificadas que están alineadas en la dirección de incidencia.

20 La formación de una pluralidad de regiones modificadas se explicará en términos de una región de fisura a modo de ejemplo. La figura 89 es una vista en perspectiva de un objeto que va a procesarse 1, formado con dos regiones de fisura 9 en el interior del objeto 1 usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el noveno ejemplo de la presente realización.

Un procedimiento de formación de dos regiones de fisura 9 se explicará de forma resumida. En primer lugar, el objeto 1 se irradia con una luz láser por impulsos L, mientras que el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos L se encuentra en el interior del objeto 1 cerca de su cara posterior 21 y se mueve a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Esto forma una región de fisura 9 (9A) a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el interior del objeto 1 cerca de la cara posterior 21. Posteriormente, el objeto 1 se irradia con la luz láser por impulsos L, mientras que el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos L se encuentra en el interior del objeto 1 cerca de su superficie 3 y se mueve a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Esto forma una región de fisura 9 (9B) a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el interior del objeto 1 cerca de la superficie 3.

A continuación, tal como se muestra en la figura 90, unas fisuras 91 se desarrollan de manera natural a partir de las regiones de fisura 9A, 9B. Específicamente, las fisuras 91 se desarrollan de manera natural desde la región de fisura 9A hacia la cara posterior 21, desde la región de fisura 9A (9B) hacia la región de fisura 9B (9A), y desde la región de fisura 9B hacia la superficie 3. Esto puede formar unas fisuras 9 alargadas en la dirección del espesor del objeto, en la superficie del objeto 1 que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, es decir, la superficie que va a volverse una sección transversal. Por lo tanto, el objeto 1 puede cortarse a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 de manera artificial, aplicando una fuerza relativamente pequeña al mismo o de manera natural, sin aplicar una fuerza de este tipo.

Al igual que en lo anterior, el noveno ejemplo forma una pluralidad de regiones de fisura 9, aumentando de ese modo el número de ubicaciones que van a volverse puntos iniciales al cortar el objeto 1. Como consecuencia, el noveno ejemplo hace posible cortar el objeto 1 incluso en los casos en los que el objeto 1 tiene un espesor relativamente grande, el objeto 1 se hace de un material en el que es difícil que se desarrollen fisuras 91 después de la formación de las regiones de fisura 9, y así sucesivamente.

50 Cuando es difícil cortar sólo mediante dos regiones de fisura 9, se forman tres o más regiones de fisura 9. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 91, una región de fisura 9C se forma entre la región de fisura 9A y la región de fisura 9B. El corte puede lograrse también en una dirección ortogonal a la dirección del espesor del objeto 1, a condición de que ésta sea la dirección de incidencia de la luz láser, tal como se muestra en la figura 92.

Preferiblemente, en el noveno ejemplo de la presente realización, se forma sucesivamente una pluralidad de regiones de fisura 9 a partir del lado más alejado de la cara de entrada (por ejemplo, la superficie 3) del objeto que va a procesarse sobre la que está incidiendo la luz láser por impulsos L. Por ejemplo, en la figura 89, la región de fisura 9A se forma en primer lugar, y a continuación se forma la región de fisura 9B. Si las regiones de fisura 9 se forman sucesivamente a partir del lado más cercano a la cara de entrada, el impulso láser L que se irradia en el momento de la formación de la región de fisura 9 que va a formarse más tarde se difundirá por la región de fisura 9 formada anteriormente. Como consecuencia, tienen lugar unas desviaciones en los tamaños de la parte de fisura (un punto de fisura) formada por una descarga de la luz láser por impulsos L que constituye la región de fisura 9 formada más tarde. Por lo tanto, la región de fisura 9 formada más tarde no puede formarse de manera uniforme. La formación de las regiones de fisura 9 sucesivamente a partir del lado más alejado de la cara de entrada no genera la

dispersión que se menciona anteriormente, mediante lo cual la región de fisura 9 formada más tarde puede formarse de manera uniforme.

5 No obstante, el orden de la formación de una pluralidad de regiones de fisura 9 en el noveno ejemplo de la presente invención no se limita a lo que se menciona anteriormente. Éstas pueden formarse sucesivamente a partir del lado más cercano a la cara de entrada del objeto que va a procesarse, o formarse de manera aleatoria. En la formación aleatoria, por ejemplo en la figura 91, la región de fisura 9C se forma en primer lugar, a continuación la región de fisura 9B y por último se forma la región de fisura 9A, invirtiendo la dirección de incidencia de la luz láser.

10 A pesar de que la formación de una pluralidad de regiones modificadas se explica en el caso de regiones de fisura, lo mismo sigue siendo cierto en las regiones procesadas fundidas y en las regiones de cambio de índice de refracción. A pesar de que la explicación se refiere a una luz láser por impulsos, lo mismo sigue siendo cierto para la luz láser de onda continua.

15 El aparato de procesamiento láser tiene una configuración similar a la del aparato de procesamiento láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 14. En el noveno ejemplo, la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto que va a procesarse 1 se ajusta mediante la fase de eje Z 113. Ésta puede ajustar el punto de convergencia de luz P con el fin de ubicar éste en una posición más cercana a, o más alejada de, la cara de entrada (la superficie 3), que es una posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto que va a procesarse 1, y en una posición con sustancialmente la mitad de espesor.

25 En el presente caso, el ajuste de la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto que va a procesarse producido por la fase de eje Z se explicará con referencia a las figuras 93 y 94. En el noveno ejemplo de la presente invención, la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser en la dirección del espesor del objeto que va a procesarse se ajusta con el fin de encontrarse en una posición deseable en el interior del objeto con referencia a la superficie (la cara de entrada) del objeto. La figura 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 fase de eje Z se mueve una distancia z hacia la lente convergente de luz 105, el punto de convergencia de luz P se mueve desde la superficie 3 hasta el interior del objeto 1, tal como se muestra en la figura 94. La cantidad de movimiento del punto de convergencia de luz P en el interior del objeto 1 es Nz (en la que N es el índice de refracción del objeto 1 con respecto a la luz láser L). Por lo tanto, cuando se mueve la fase de eje Z a la vista del índice de refracción del objeto 1 con respecto a la luz láser L, puede controlarse la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto 1. A saber, una posición deseable del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto 1 se define como la distancia (Nz) desde la superficie 3 hasta el interior del objeto 1. El objeto 1 se mueve en la dirección del espesor la cantidad de movimiento (z) obtenida dividiendo la distancia (Nz) por el índice de refracción (N) que se menciona anteriormente. Esto puede ubicar el punto de convergencia de luz P en la posición deseable.

40 Tal como se explica en el primer ejemplo, el controlador de fase 115 controla el movimiento de la fase de eje Z 113 de acuerdo con los datos de punto focal, de tal modo que el punto focal de la luz visible se encuentra en la superficie 3. El aparato de procesamiento láser 1 se ajusta de tal 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 fase de eje Z 113 en la que el punto focal de la luz visible se encuentra en la superficie 3. Los datos de la cantidad de movimiento (z) que se explican en las figuras 93 y 94 se introducen y se almacenan en el controlador global 127.

45 Con referencia a la figura 95, el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el noveno ejemplo de la presente realización se explicará a continuación. La figura 95 es un diagrama de flujo para explicar el presente procedimiento de procesamiento láser. El objeto que va a procesarse 1 es una oblea de silicio.

50 La etapa S101 es la misma que la etapa S101 del primer ejemplo que se muestra en la figura 15. Posteriormente, se mide el espesor del objeto 1. De acuerdo con el resultado de la medición del espesor y el índice de refracción del objeto 1, se determina (S103) la cantidad de movimiento (z) del objeto 1 en la dirección del eje Z. 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 situado en la superficie 3 del objeto 1, con el fin de ubicar el punto de convergencia de luz P de la luz láser L en el interior del objeto 1. A saber, se determina la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto 1. La posición del punto de convergencia de luz P se determina a la vista del espesor y el material del objeto 1 y similar. En la presente realización, se usan los datos de una primera cantidad de movimiento para colocar el punto de convergencia de luz P cerca de la cara posterior en el interior del objeto 1 y los datos de una segunda cantidad de movimiento para colocar el punto de convergencia de luz P cerca de la superficie 3 en el interior del objeto 1. Una primera región procesada fundida que va a formarse se forma usando los datos de la primera cantidad de movimiento. Una segunda región procesada fundida que va a formarse se forma usando los datos de la segunda cantidad de movimiento. Los datos de estas cantidades de movimiento se introducen en el controlador global 127.

65 Las etapas S105 y S107 son las mismas que las etapas S105 y S107 en el primer ejemplo que se muestra en la figura 15. Los datos de punto focal que calcula la etapa S107 se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con los datos de punto focal, el controlador de fase 115 mueve la fase de eje Z 113 en la dirección del eje Z (S109). Esto

coloca el punto focal de la luz visible de la fuente de luz de observación 117 en la superficie 3. En este punto de la fase de eje Z 113, el punto focal P de la luz láser por impulsos L se sitúa en la superficie 3. En el presente caso, de acuerdo con los datos de generación de imagen, el procesador de datos de generación de imagen 125 calcula unos datos de imagen ampliada de la superficie del objeto 1 que incluye la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Los datos de imagen ampliada se envían al monitor 129 por medio del controlador global 127, mediante lo cual una imagen ampliada en los alrededores de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 se visualiza en el monitor 129.

Los datos de la primera cantidad de movimiento que se determina por la etapa S103 ya se han introducido en el controlador global 127, y se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con estos datos de la cantidad de movimiento, el controlador de fase 115 mueve el objeto 1 en la dirección del eje Z usando la fase de eje Z 113 hasta una posición en la que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se encuentra en el interior del objeto 1 (S111). Esta posición interior se encuentra cerca de la cara posterior del objeto 1.

A continuación, como en la etapa S113 del primer ejemplo que se muestra en la figura 15, una región procesada fundida se forma en el interior del objeto 1 con el fin de extenderse a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 (S113). La región procesada fundida se forma cerca de la cara posterior en el interior del objeto 1.

A continuación, de acuerdo con los datos de la segunda cantidad de movimiento como en la etapa S111, el objeto 1 se mueve en la dirección del eje Z mediante la fase de eje Z 113 hasta una posición en la que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se encuentra en el interior del objeto 1 (S115). Posteriormente, como en la etapa S113, una región procesada fundida se forma en el interior del objeto 1 (S117). En la presente etapa, la región procesada fundida se forma cerca de la superficie 3 en el interior del objeto 1.

Por último, el objeto 1 se dobla a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5, y de este modo se corta (S119). Esto divide el objeto 1 en microplacas de silicio,

Se explicarán los efectos del noveno ejemplo de la presente invención. El noveno ejemplo forma una pluralidad de regiones modificadas que están alineadas en la dirección de incidencia, aumentando de ese modo el número de ubicaciones que van a volverse puntos iniciales al cortar el objeto 1. En el caso en el que el tamaño del objeto 1 en la dirección de incidencia de la luz láser es relativamente grande o en el que el objeto 1 se hace de un material en el que es difícil que se desarrollen fisuras a partir de una región modificada, por ejemplo, el objeto 1 es difícil de cortar cuando sólo existe una región modificada a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. En un caso de este tipo, la formación de una pluralidad de regiones modificadas como en la presente realización puede cortar con facilidad el objeto 1.

[Décimo ejemplo]

Un décimo ejemplo de la presente invención controla la posición de una región modificada en la dirección del espesor de un objeto que va a procesarse, ajustando el punto de convergencia de luz de la luz láser en la dirección del espesor del objeto.

Este control de posición se explicará en términos de una región de fisura a modo de ejemplo. La figura 96 es una vista en perspectiva de un objeto que va a procesarse 1, en el que se forma una región de fisura 9 en el interior del objeto 1 usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el décimo ejemplo de la presente realización. El punto de convergencia de la luz de impulso láser L se encuentra en el interior del objeto 1 a través de la superficie (la cara de entrada) 3 del objeto con respecto a la luz láser por impulsos L. El punto de convergencia de luz se ajusta con el fin de encontrarse en una posición con sustancialmente la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto 1. Cuando el objeto que va a procesarse 1 se irradia con la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en estas condiciones, una región de fisura 9 se forma a lo largo de una línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en una posición con la mitad de espesor del objeto 1 y sus alrededores.

La figura 97 es una vista en sección parcial del objeto 1 que se muestra en la figura 96. Después de que se forma la región de fisura 9, unas fisuras 91 se desarrollan de manera natural hacia la superficie 3 y la cara posterior 21. Cuando la región de fisura 9 se forma en la posición con la mitad de espesor y sus alrededores en la dirección del espesor del objeto 1, la distancia entre la fisura 91 que se desarrolla de manera natural y la superficie 3 (la cara posterior 21) puede hacerse relativamente larga, por ejemplo, en el caso en el que el objeto 1 tiene un espesor relativamente grande. Por lo tanto, una parte que va a cortarse que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en el objeto 1 mantiene un cierto grado de resistencia. Por lo tanto, cuando se lleva a cabo la etapa de corte del objeto 1 después de finalizar el procesamiento láser, el manejo del objeto se vuelve más fácil.

La figura 98 es una vista en perspectiva de un objeto que va a procesarse 1 que incluye una región de fisura 9 formada usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el décimo ejemplo de la presente realización como en la figura 96. La región de fisura 9 que se muestra en la figura 98 se forma cuando el punto de

convergencia de luz de la luz láser por impulsos L se ajusta con el fin de encontrarse en una posición más cerca de la superficie (la cara de entrada) 3, que es una posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto 1. La región de fisura 9 se forma sobre el lado de la superficie 3 en el interior del objeto 1. La figura 99 es una vista en sección parcial del objeto 1 que se muestra en la figura 98. Debido a que la región de fisura 9 se forma sobre el lado de la superficie 3, las fisuras 91 que se desarrollan de manera natural alcanzan la superficie 3 o sus alrededores. Por lo tanto, es probable que se produzcan unas fracturas que se extienden a lo largo de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 en la superficie 3, mediante lo cual el objeto 1 puede cortarse con facilidad.

En el caso en el que la superficie 3 del objeto 1 se forma con unos dispositivos electrónicos y unos patrones de electrodos en particular, la formación de la región de fisura 9 cerca de la superficie 3 puede evitar que los dispositivos electrónicos y similares se dañen al cortar el objeto 1. A saber, las fisuras 91 que se desarrollan desde la región de fisura 9 hacia la superficie 3 y la cara posterior 21 del objeto 1 cortan el objeto 1. El corte puede lograrse mediante el desarrollo natural de las fisuras 91 solas o mediante las fisuras 91 que se desarrollan de manera artificial además del desarrollo natural de la fisura 91. Cuando la distancia entre la región de fisura 9 y la superficie 3 es relativamente larga, la desviación en la dirección de desarrollo de las fisuras 91 sobre el lado de la superficie 3 se vuelve más grande. Como consecuencia, las fisuras 91 pueden alcanzar unas regiones formadas con los dispositivos electrónicos y similares, dañando de este modo los dispositivos electrónicos y similares. Cuando la región de fisura 9 se forma cerca de la superficie 3, la distancia entre la región de fisura 9 y la superficie 3 es relativamente corta, mediante lo cual la desviación en la dirección de desarrollo de las fisuras 91 puede hacerse más pequeña. Por lo tanto, el corte puede efectuarse sin dañar los dispositivos electrónicos y similares. Cuando la región de fisura 9 se forma en una ubicación demasiado cerca de la superficie 3, la región de fisura 9 se forma en la superficie 3. Como consecuencia, la forma aleatoria de la propia región de fisura 9 aparece en la superficie 3, lo que da lugar a astillamiento, deteriorando de este modo la precisión en la ruptura y el corte.

La región de fisura 9 puede también formarse mientras que el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos L se ajusta con el fin de encontrarse en una posición más alejada a partir de la superficie 3, que es una posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto 1. En el presente caso, la región de fisura 9 se forma sobre el lado de la cara posterior 21 en el interior del objeto 1.

Como en la figura 96, la figura 100 es una vista en perspectiva del objeto 1 que incluye unas regiones de fisura formadas usando el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el décimo ejemplo de la presente realización. La región de fisura 9 en la dirección del eje X que se muestra en la figura 100 se forma cuando el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos L se ajusta con el fin de encontrarse en una posición más alejada a partir de la superficie (la cara de entrada) 3, que es una posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto 1. La región de fisura 9 en la dirección del eje Y se forma cuando el punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos L se ajusta con el fin de encontrarse en una posición más cerca de la superficie 3, que es la posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto 1. La región de fisura 9 en la dirección del eje X y la región de fisura 9 en la dirección del eje Y se cruzan entre sí de forma tridimensional.

Cuando el objeto 1 es una oblea de semiconductor, por ejemplo, se forma una pluralidad de regiones de fisura 9 en paralelo en cada una de las direcciones en el eje X e Y. Esto forma las regiones de fisura 9 como una retícula en la oblea de semiconductor, mientras que esta última se divide en microplacas individuales a la vez que se usan las regiones de fisura de tipo retícula como puntos iniciales. Cuando la región de fisura 9 en la dirección del eje X y la región de fisura 9 en la dirección del eje Y se encuentran en la misma posición en la dirección del espesor del objeto 1, tiene lugar una ubicación en la que la región de fisura 9 en la dirección del eje X y la región de fisura 9 en la dirección del eje Y se cortan entre sí en ángulos rectos. En la ubicación en la que las regiones de fisura 9 se cortan entre sí en ángulos rectos, éstas se superponen unas a otras, lo que hace difícil que la sección transversal en la dirección del eje X y la sección transversal en la dirección del eje Y se corten entre sí en ángulos rectos con una alta precisión. Esto impide que el objeto 1 se corte con precisión en la intersección.

Cuando la posición de la región de fisura 9 en la dirección del eje X y la posición de la región de fisura 9 en la dirección del eje Y se diferencian entre sí en la dirección del espesor del objeto 1, tal como se muestra en la figura 100, puede evitarse que la región de fisura 9 en la dirección del eje X y la región de fisura 9 en la dirección del eje Y se superpongan una a otra. Esto permite un corte preciso del objeto 1.

En la región de fisura 9 en la dirección del eje X y la región de fisura 9 en la dirección del eje Y, la región de fisura 9 que va a formarse más tarde se forma preferiblemente más cerca de la superficie (la cara de entrada) 3, que es la región de fisura 9 formada anteriormente. Si la región de fisura 9 que va a formarse más tarde se forma más cerca de la cara posterior 21, que es la región de fisura 9 formada anteriormente, la luz láser por impulsos L que se irradia cuando se forma la región de fisura 9 que va a formarse más tarde se difunde por la región de fisura 9 formada anteriormente en la ubicación en la que la sección transversal en la dirección del eje X y la sección transversal en la dirección del eje Y se cortan entre sí en ángulos rectos. Esto forma desviaciones entre el tamaño de una parte formada en una posición que va a volverse la ubicación de intersección que se menciona anteriormente y el tamaño de una parte formada en otra posición, en la región de fisura 9 que va a formarse más tarde. Por lo tanto, la región de fisura 9 que va a formarse más tarde no puede formarse de manera uniforme.

Cuando la región de fisura 9 que va a formarse más tarde se forma más cerca de la superficie 3, que es la región de fisura 9 formada anteriormente, por el contrario, no tiene lugar una dispersión de la luz láser por impulsos L en una posición que va a volverse la ubicación de intersección que se menciona anteriormente, mediante lo cual la región de fisura 9 que va a formarse más tarde puede formarse de manera uniforme.

5 Tal como se explica en lo anterior, el décimo ejemplo de la presente invención ajusta la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser en la dirección del espesor de un objeto que va a procesarse, siendo de este modo capaz de controlar la posición de una región modificada en la dirección del espesor del objeto. El cambio de la posición del punto de convergencia de luz a la vista del espesor y el material del objeto que va a procesarse y similar  
10 permite un procesamiento láser en conformidad con el objeto.

A pesar de que el hecho de que la posición de una región modificada puede controlarse se explica en el caso de una región de fisura, lo mismo sigue siendo cierto en las regiones procesadas fundidas y en las regiones de cambio de índice de refracción. A pesar de que la explicación se refiere a una luz láser por impulsos, lo mismo sigue siendo  
15 cierto para la luz láser de onda continua.

El aparato de procesamiento láser tiene una configuración similar a la del aparato de procesamiento láser 100 de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 14. En el décimo ejemplo, la fase de eje Z 113 ajusta la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto 1. Ésta puede ajustar el punto de convergencia de luz P con el fin de ubicar éste en una posición más cercana a, o más alejada de, la cara de entrada (la superficie 3), que es una posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor del objeto 1 o en una posición con sustancialmente la mitad de espesor, por ejemplo. Estas operaciones de ajuste y colocación del punto de convergencia de luz de la luz láser en el interior del objeto pueden lograrse también moviendo la lente convergente de luz 105 en la dirección del eje Z. Debido a que existen casos en los que el objeto 1 se mueve en la  
20 dirección del espesor del mismo y en los que la lente convergente de luz 105 se mueve en la dirección del espesor del objeto 1 en la presente invención, la cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del espesor del objeto 1 se define como una primera cantidad de movimiento relativo o una segunda cantidad de movimiento relativo.

El ajuste del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto que va a procesarse producido por la fase de eje Z es el mismo que el del noveno ejemplo que se explica con referencia a las figuras 93 y 94.  
30

El procesador de datos de generación de imagen 125 calcula los datos de punto focal para ubicar el punto focal de la luz visible que genera la fuente de luz de observación 117 sobre la superficie 3, de acuerdo también con los datos de generación de imagen en el décimo ejemplo. De acuerdo con estos datos de punto focal, el controlador de fase 115 controla el movimiento de la fase de eje Z 113, con el fin de ubicar el punto focal de la luz visible en la superficie 3. El aparato de procesamiento láser 1 se ajusta de tal modo que el punto de convergencia de luz P de la luz láser L se encuentra en la superficie 3 en la posición de la fase de eje Z 113 en la que el punto focal de la luz visible se encuentra en la superficie 3. Por lo tanto, los datos de punto focal son un ejemplo de la segunda cantidad de movimiento relativo del objeto 1 en la dirección del espesor del mismo que se requiere para ubicar el punto de convergencia de luz P en la superficie (la cara de entrada) 3. El procesador de datos de generación de imagen 125 tiene una función de cálculo de la segunda cantidad de movimiento relativo.  
40

Los datos de la cantidad de movimiento (z) que se explican con referencia a las figuras 93 y 94 se introducen y se almacenan en el controlador global 127. A saber, el controlador global 127 tiene una función de almacenamiento de datos de la cantidad de movimiento relativo del objeto que va a procesarse 1 en la dirección del espesor del objeto 1. El controlador global 127, el controlador de fase 115 y la fase de eje Z 113 ajustan la posición del punto de convergencia de luz de la luz láser por impulsos que la lente convergente de luz hace que converja en el interior del intervalo del espesor del objeto 1.  
45

El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el décimo ejemplo se explicará con referencia al aparato de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 14 y el diagrama de flujo para el procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con el primer ejemplo que se muestra en la figura 15. El objeto que va a procesarse 1 es una oblea de silicio.  
50

La etapa S101 es la misma que la etapa S101 del primer ejemplo que se muestra en la figura 15. Posteriormente, como en la etapa S103 del primer ejemplo que se muestra en la figura 15, se mide el espesor del objeto 1. De acuerdo con el resultado de la medición del espesor y el índice de refracción, se determina (S103) la cantidad de movimiento (z) en la dirección del eje Z del objeto 1. 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 situado en la superficie 3 del objeto 1 que se requiere para colocar el punto de convergencia de luz P de la luz láser L en el interior del objeto 1. A saber, se determina la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto 1. La cantidad de movimiento (z) en la dirección del eje Z es un ejemplo de los datos de movimiento relativo del objeto 1 en la dirección del espesor del mismo. La posición del punto de convergencia de luz P se determina a la vista del espesor y el material del objeto 1, los efectos de procesamiento (por ejemplo, la facilidad para manejar y cortar el objeto) y similar. Estos datos de la cantidad de movimiento se introducen en el controlador global 127.  
60  
65

Las etapas S105 y S107 son similares a las etapas S105 y S107 del primer ejemplo que se muestra en la figura 15. Los datos de punto focal que calcula la etapa S107 son unos datos de una segunda cantidad de movimiento en la dirección del eje Z del objeto 1.

5 Estos datos de punto focal se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con estos datos de punto focal, el controlador de fase 115 mueve la fase de eje Z 113 en la dirección del eje Z (S109). Esto coloca el punto focal de la luz visible de la fuente de luz de observación 117 en la superficie 3. En esta posición de la fase de eje Z 113, el punto de convergencia de luz P de la luz láser por impulsos L se sitúa en la superficie 3. De acuerdo con los datos de generación de imagen, el procesador de datos de generación de imagen 125 calcula unos datos de imagen ampliada de la superficie del objeto 1 que incluye la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5. Estos datos de imagen ampliada se envían al monitor 129 por medio del controlador global 127, mediante lo cual una imagen ampliada cerca de la línea a lo largo de la cual el objeto se pretende cortar 5 se visualiza en el monitor 127.

15 Los datos de la cantidad de movimiento relativo que se determinan por la etapa S103 ya se han introducido en el controlador global 127, y se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con estos datos de la cantidad de movimiento, el controlador de fase 115 da lugar a que la fase de eje Z 113 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 encuentra en el interior del objeto 1 (S111).

20 Las etapas S113 y S115 son similares a las etapas S113 y S115 que se muestran en la figura 15. Lo anterior divide el objeto 1 en microplacas de silicio.

25 Se explicarán los efectos del décimo ejemplo de la presente invención. El décimo ejemplo irradia el objeto que va a procesarse 1 con una luz láser por impulsos L mientras que se ajusta la posición del punto de convergencia de luz P en la dirección del espesor del objeto 1, formando de este modo una región modificada. Esto puede controlar la posición de una región modificada en la dirección del espesor del objeto 1. Por lo tanto, el cambio de la posición de una región modificada en la dirección del espesor del objeto 1 de acuerdo con el material y el espesor del objeto 1, los efectos de procesamiento y similar, permite el corte en conformidad con el objeto 1.

### 30 **Aplicabilidad industrial**

35 El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la presente invención puede cortar un objeto que va a procesarse sin generar una masa fundida o fracturas que se desvían de las líneas que van a cortarse sobre una superficie del objeto. Por lo tanto, puede mejorarse el rendimiento y la productividad de los productos (por ejemplo, microplacas de semiconductor, microplacas de dispositivo piezoeléctrico y dispositivos de visualización tales como cristal líquido) que se preparan cortando los objetos que van a procesarse.



## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de corte de un sustrato de material semiconductor, un sustrato de material piezoeléctrico o un sustrato de vidrio (1) que va a cortarse por procesamiento láser que comprende:

5 irradiar el sustrato (1) que va a cortarse con un haz de láser, y;  
cortar el sustrato (1) a lo largo de la línea a lo largo de la cual se pretende cortar el sustrato (1),  
**caracterizado por que** la etapa de irradiación comprende

10 irradiar el sustrato (1) que va a cortarse con un láser pulsado (L) con un punto de convergencia de luz (P) que se encuentra en el interior del sustrato (1) en una condición con una densidad de potencia máxima de al menos  $1 \times 10^8$  W/cm<sup>2</sup> en el punto de convergencia de luz (P) y una anchura de impulsos de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de generar una región de fisuración en la que se genera una fisura en el interior del sustrato (1) en la que el sustrato (1) es el sustrato de vidrio o el sustrato de material piezoeléctrico, una región procesada fundida en la que el sustrato (1) es un sustrato de material semiconductor, o una región de cambio de índice de refracción producida por un cambio estructural permanente tal como un cambio de orientación de polarización, cristalización o valencia iónica en el que el sustrato (1) es un sustrato de vidrio y la anchura de impulsos es 1 ns o menos, sin dar lugar a ninguna región fundida sobre la superficie de incidencia de luz láser pulsada (3) del objeto sustrato (1), y;  
20 mover relativamente la luz láser pulsada (L) con respecto al sustrato (1) a lo largo de una línea a lo largo de la cual el sustrato se pretende cortar (5), para formar una pluralidad de puntos modificados (7), cada uno de los cuales se forma en respuesta a un impulso de la luz láser pulsada (L), en una región en el interior del objeto sustrato (1) y separada de la superficie (de incidencia) de entrada de luz láser pulsada (3) del objeto sustrato (1) una distancia predeterminada para formar una región modificada que consiste en la pluralidad de los puntos modificados (7) y que funciona como al menos un punto inicial para cortar el objeto sustrato (1) del mismo, para dar lugar a una fractura (9) generada a partir de la región modificada para crecer en una dirección de la dirección del espesor del sustrato (1) para cortar el sustrato (1) a lo largo de la línea a lo largo de la cual el sustrato se pretende cortar (5).

2. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha irradiación del sustrato (1) que va a procesarse con una luz láser con un punto de convergencia de luz que se encuentra en su interior se lleva a cabo irradiando dicho sustrato (1) con una luz láser (L) emitida a partir de una fuente de luz láser mientras que se hace que converja dicha luz láser (L) y se ubica un punto de convergencia de luz (P) en el interior de dicho sustrato (1).

3. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha irradiación del sustrato (1) que va a procesarse con una luz láser (L) con un punto de convergencia de luz (P) que se encuentra en su interior se lleva a cabo irradiando dicho sustrato (1) con una pluralidad de haces de luz láser emitidos a partir de unas fuentes de luz láser respectivas (15, 17, 19) desde unas direcciones diferentes, mientras que se ubican unos puntos de convergencia de luz respectivos en el interior de dicho sustrato (1).

4. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dicha pluralidad de haces de luz láser emitidos a partir de unas fuentes de luz láser respectivas se introducen en dicho sustrato (1) a partir de la superficie de entrada de luz láser (3) del mismo.

5. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dicha pluralidad de fuentes de luz láser incluyen una fuente de luz láser para emitir un haz de luz láser que se introduce en dicho sustrato (1) a partir de dicha superficie de entrada de luz láser (3) del mismo, y una fuente de luz láser para emitir un haz de luz láser que se introduce en dicho sustrato (1) a partir de la cara posterior (21) del mismo.

6. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 5, en el que dicha pluralidad de fuentes de luz láser incluyen una sección de fuente de luz que tiene unas fuentes de luz láser dispuestas en una disposición ordenada (15, 17, 19) a lo largo de dicha línea a lo largo de la cual se pretende cortar el sustrato (1).

7. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho sustrato (1) incluye vidrio.

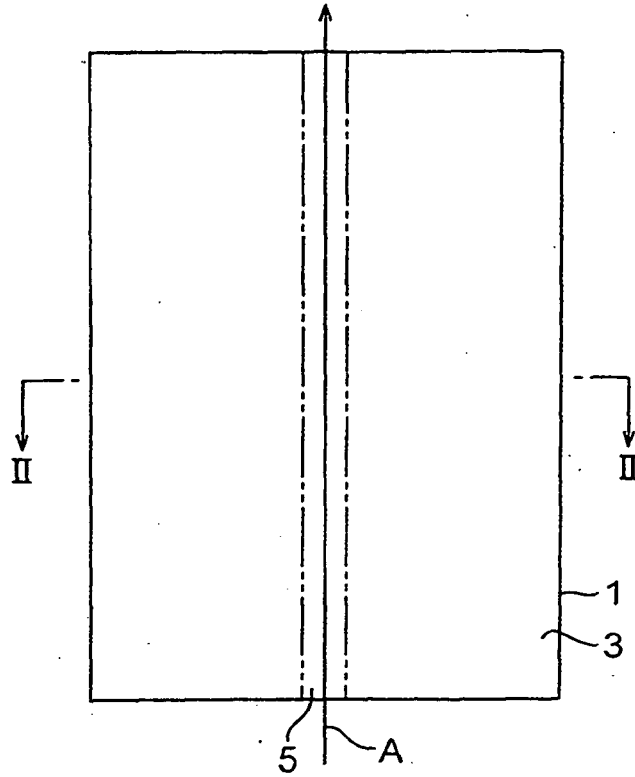
8. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho sustrato (1) incluye un material piezoeléctrico.

9. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicho sustrato (1) incluye un material semiconductor.

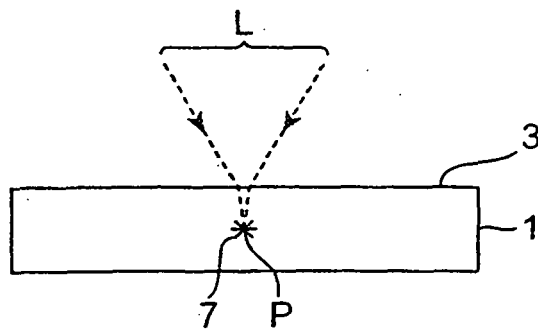
10. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho sustrato (1) es transparente a la luz láser irradiada.
- 5 11. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que dicha superficie (3) de dicho sustrato (1) se forma con un dispositivo electrónico o un patrón de electrodos.
- 10 12. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que dicho sustrato (1) tiene una superficie formada con una pluralidad de secciones de circuito; y en el que el punto de convergencia de luz (P) de la luz láser (L) se encuentra en el interior de dicho sustrato (1) con el fin de orientarse hacia un hueco formado entre secciones de circuito adyacentes entre dicha pluralidad de secciones de circuito.
13. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 12, en el que se hace que la luz láser (L) converja con un ángulo que evita que dicha luz láser (L) irradie dicha pluralidad de secciones de circuito.
- 15 14. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de irradiar el sustrato (1) que va a procesarse con una luz láser (L) a través de la superficie de entrada de luz láser (3) de dicho sustrato (1) es tal que el punto de convergencia de luz (P) se encuentra en una posición más cercana a, o más alejada de, dicha superficie de entrada de luz láser (3), que es una posición con la mitad de espesor en la dirección del espesor de dicho sustrato (1).
- 20 15. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la pluralidad de puntos modificados (7) se forman secuencialmente en una línea.
- 25 16. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la posición del punto de convergencia de luz (P) de la luz láser (L) se cambia en una dirección de incidencia de la luz láser que irradia dicho sustrato (1) con respecto a dicho sustrato (1), con el fin de formar una pluralidad de dichas regiones modificadas, que se alinean entre sí a lo largo de dicha dirección de incidencia.
- 30 17. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 16, en el que dicha pluralidad de regiones modificadas se forman sucesivamente a partir del lado más alejado de la superficie de entrada de luz láser (3) de dicho sustrato (1).
- 35 18. Un procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con la reivindicación 16, en el que el ajuste de la posición del punto de convergencia de luz (P) de la luz láser (L) que irradia dicho sustrato (1) en dicha dirección del espesor incluye:
- 40 una primera etapa de cálculo para definir una posición deseable en dicha dirección del espesor del punto de convergencia de luz (P) de la luz láser (L) que irradia dicho sustrato (1) a una distancia con respecto a dicha superficie de entrada de luz láser (3) hasta el interior del mismo y para dividir dicha distancia por el índice de refracción de dicho sustrato (1) con respecto a la luz láser (L) que irradia dicho sustrato (1), con el fin de calcular datos de una primera cantidad de movimiento relativo de dicho sustrato (1) en dicha dirección del espesor;
- 45 una segunda etapa de cálculo para calcular datos de una segunda cantidad de movimiento relativo de dicho sustrato (1) en dicha dirección del espesor que se requiere para colocar el punto de convergencia de luz (P) de la luz láser (L) que irradia dicho sustrato en dicha superficie de entrada de luz láser (3);
- una primera etapa de movimiento para mover relativamente dicho sustrato (1) en dicha dirección del espesor de acuerdo con dichos datos de la segunda cantidad de movimiento relativo; y
- 50 una segunda etapa de movimiento para mover relativamente dicho sustrato (1) en dicha dirección del espesor de acuerdo con dichos datos de la primera cantidad de movimiento relativo después de dicha primera etapa de movimiento.
- 55 19. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los puntos modificados (7) incluyen al menos una región de fisuración en la que se genera una fisura en el interior del sustrato (1), una región procesada fundida que se ha fundido en el interior del sustrato (1), y una región de cambio de índice de refracción en la cual el índice de refracción cambia en el interior del sustrato (1).
- 60 20. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende la etapa de:
- 65 aplicar una fuerza predeterminada al sustrato (1) para cortar el sustrato (1) a lo largo de una línea a lo largo de la cual el sustrato se pretende cortar (5).
21. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los puntos modificados (7) se forman a lo largo de una línea a lo largo de la cual se pretende cortar (5) el sustrato (1) y cualquiera de los puntos modificados (7) puede encontrarse en el borde periférico del sustrato (1).

22. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20, en el que los puntos modificados (7) se forman a lo largo de una línea a lo largo de la cual se pretende cortar (5) el sustrato (1) y ninguno de los puntos modificados (7) se encuentra en el borde periférico del sustrato (1).
- 5 23. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la luz láser (L) se irradia sobre el sustrato (1) con una apertura numérica de 0,55 a 0,8.
24. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los puntos modificados (7) tienen una longitud máxima en la dirección del espesor del sustrato (1).
- 10 25. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una longitud de un punto modificado (7) en una dirección a lo largo de una línea a lo largo de la cual se pretende cortar (5) el sustrato (1) es más grande que cualquier longitud del punto modificado (7) en una dirección perpendicular a la dirección que se extiende a lo largo de la línea a lo largo de la cual se pretende cortar (5) el sustrato (1).
- 15 26. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sustrato (1) se corta a lo largo de la línea a lo largo de la cual éste se pretende cortar (5), después de la formación del punto inicial para cortar el sustrato (1).
- 20 27. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sustrato (1) se corta a lo largo de una línea a lo largo de la cual el sustrato se pretende cortar (5), después de que se ha completado la formación de la región modificada.
- 25 28. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el punto modificado (7) es una región procesada fundida que es una región que se funde una vez y a continuación se vuelve a solidificar, o es una región en un estado fundido, o es una región en el proceso de resolidificación desde su estado fundido, o es una región de fase cambiada, o es una región que ha cambiado su estructura cristalina, o es una región que se obtiene cambiando el material del sustrato (1) de una única estructura cristalina a una estructura amorfa o se obtiene cambiando el material del sustrato (1) de una única estructura cristalina a una estructura policristalina o se obtiene cambiando la única estructura cristalina a una estructura amorfa y una estructura policristalina.
- 30 29. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de corte comprende una etapa de aplicación de una fuerza artificial.
- 35 30. El procedimiento de procesamiento láser de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 28, en el que la etapa de corte comprende una etapa de romper de manera natural el sustrato en una dirección del espesor en la que la región modificada actúa como punto inicial.
- 40

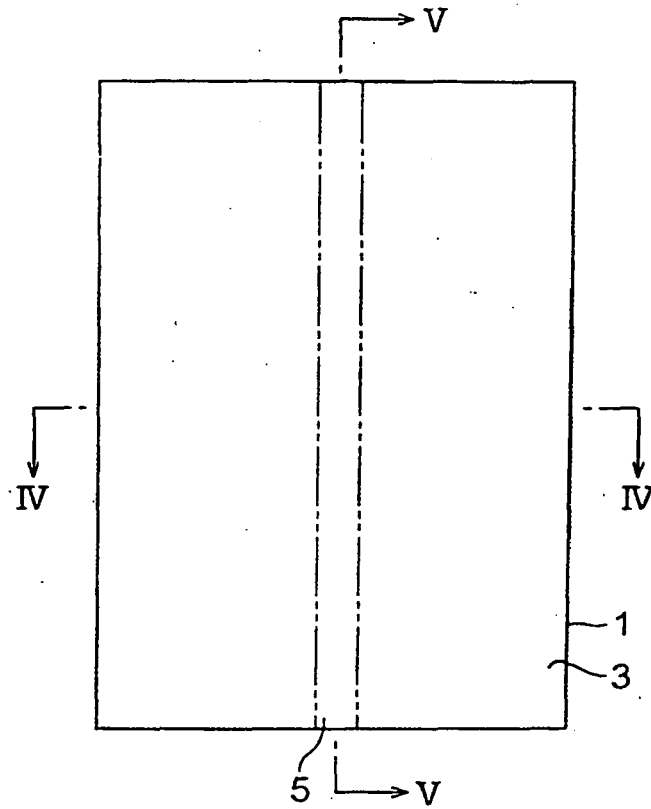
**Fig.1**



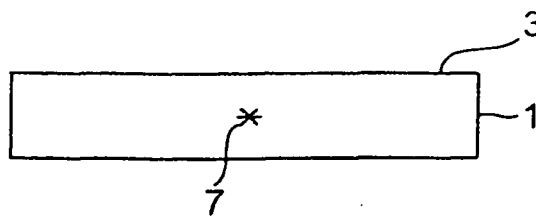
**Fig.2**



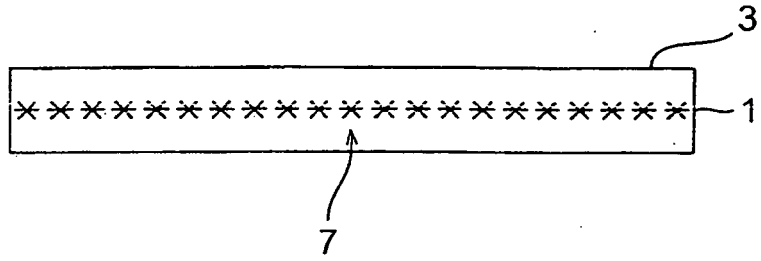
**Fig.3**



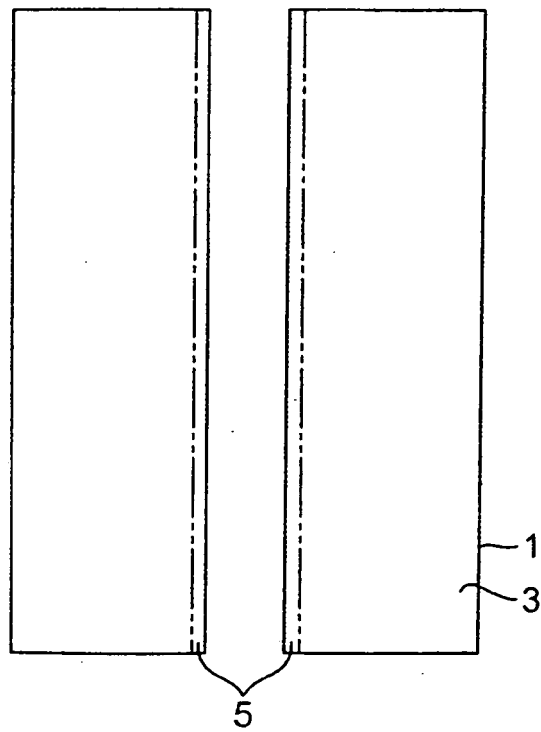
**Fig.4**



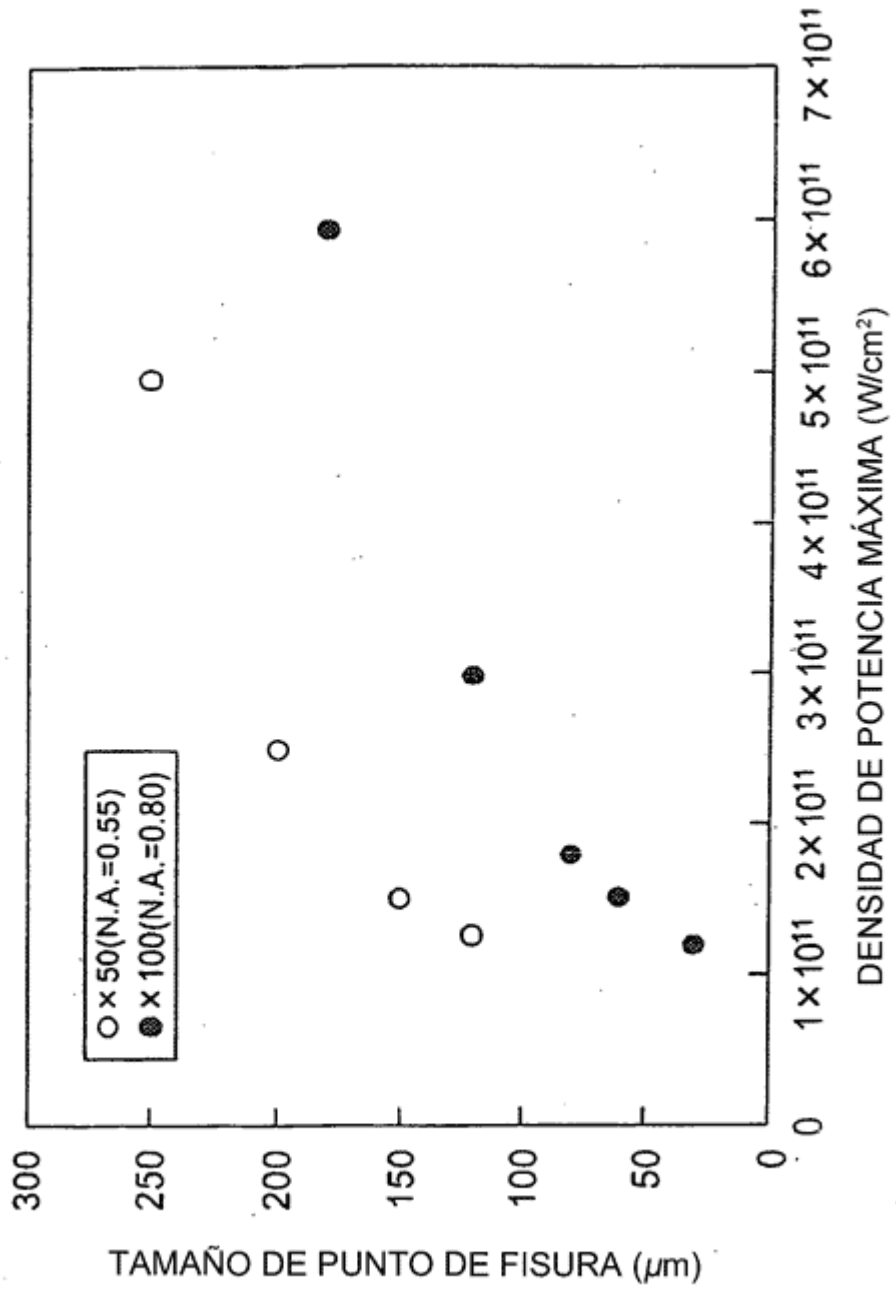
**Fig.5**



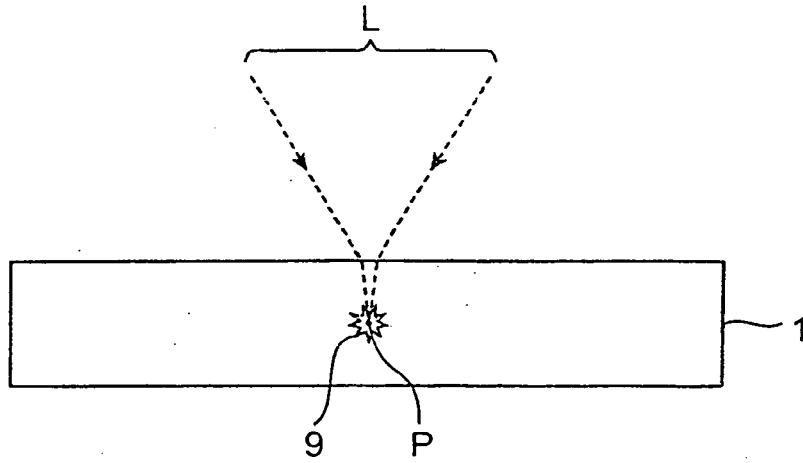
**Fig.6**



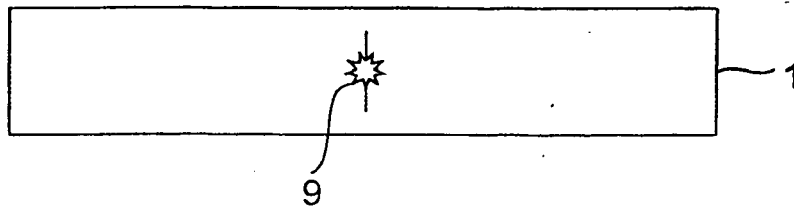
**Fig.7**



**Fig.8**

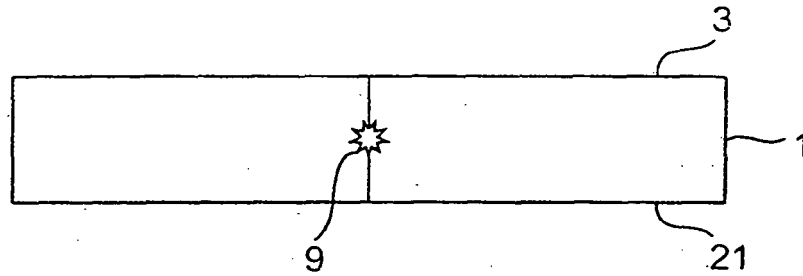


**Fig.9**

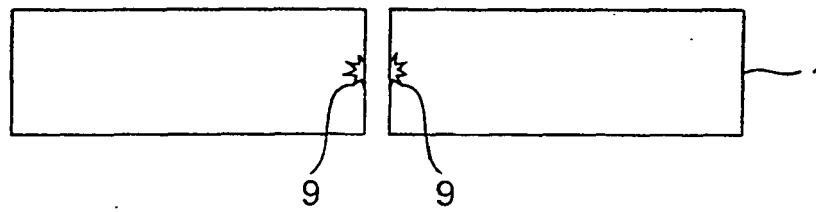


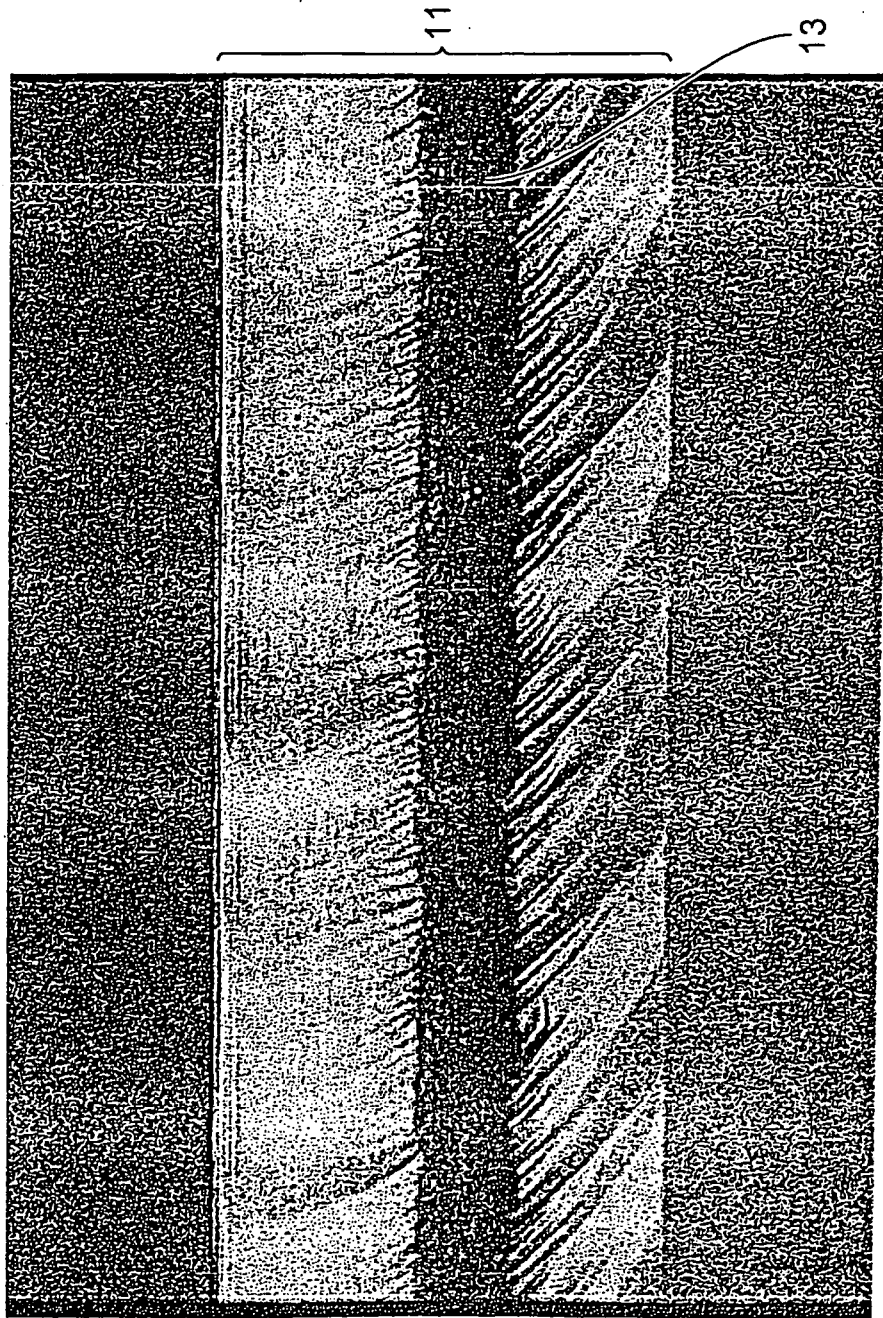


**Fig.10**



**Fig.11**





**Fig.12**

Fig.13

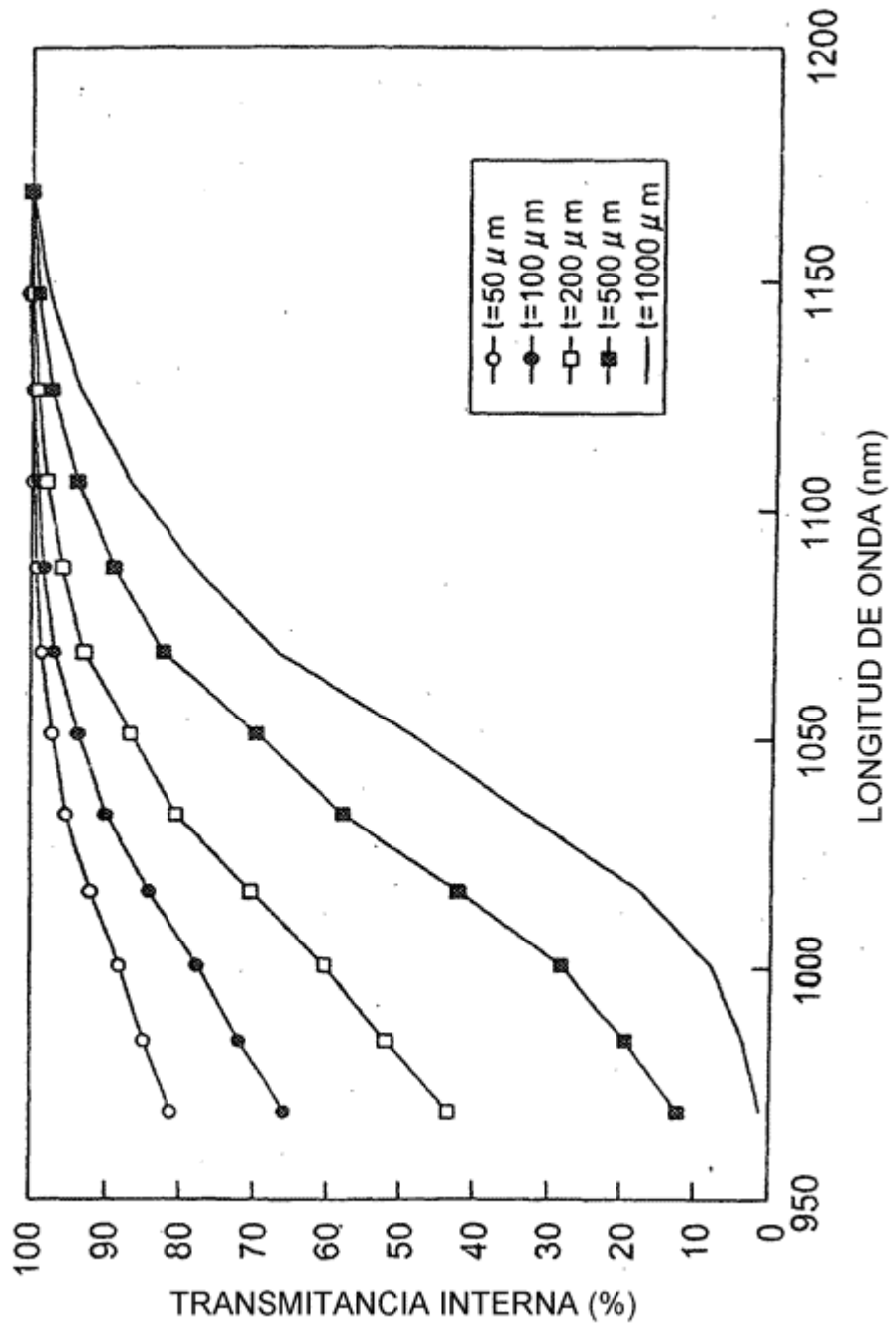
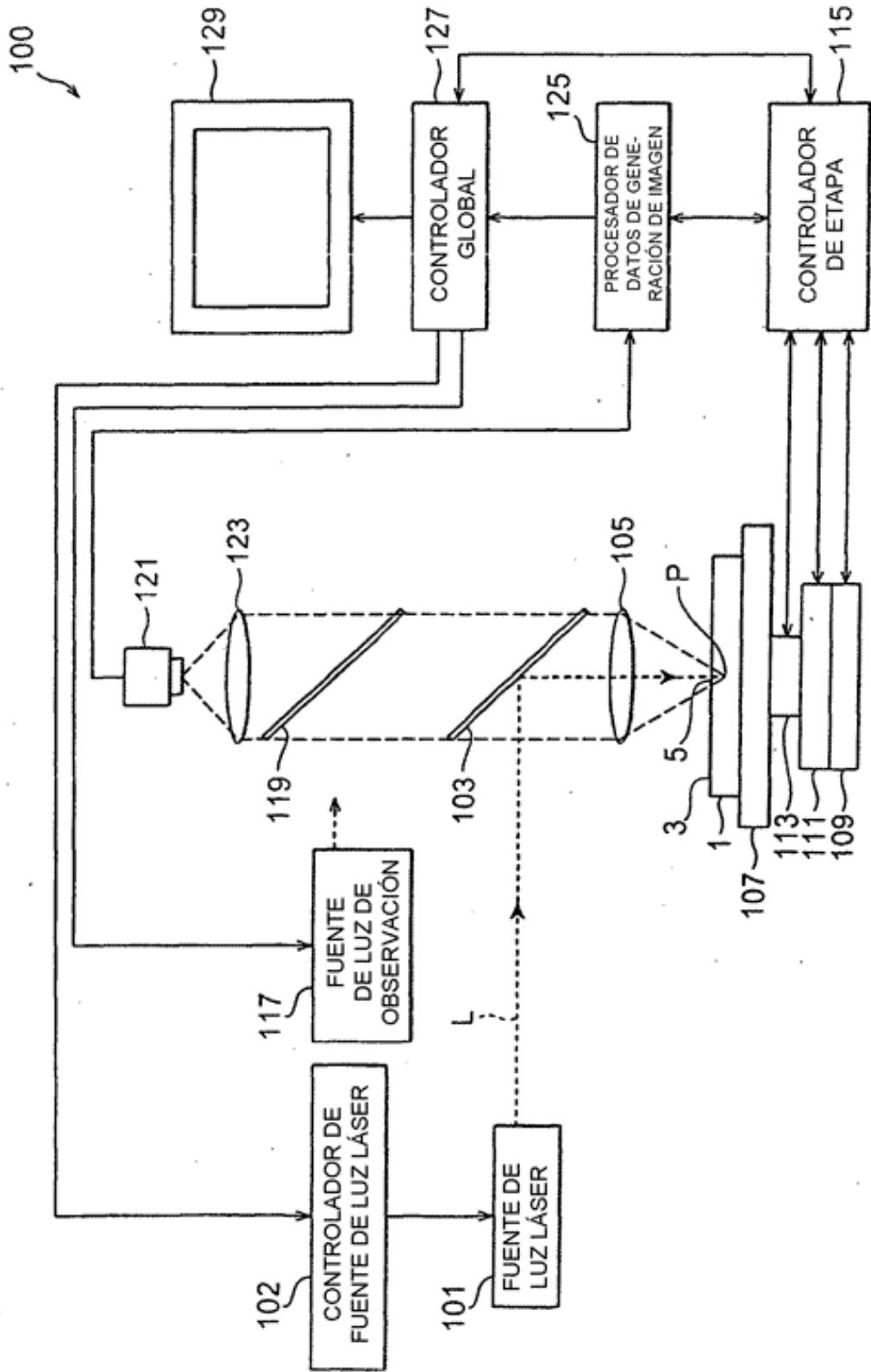
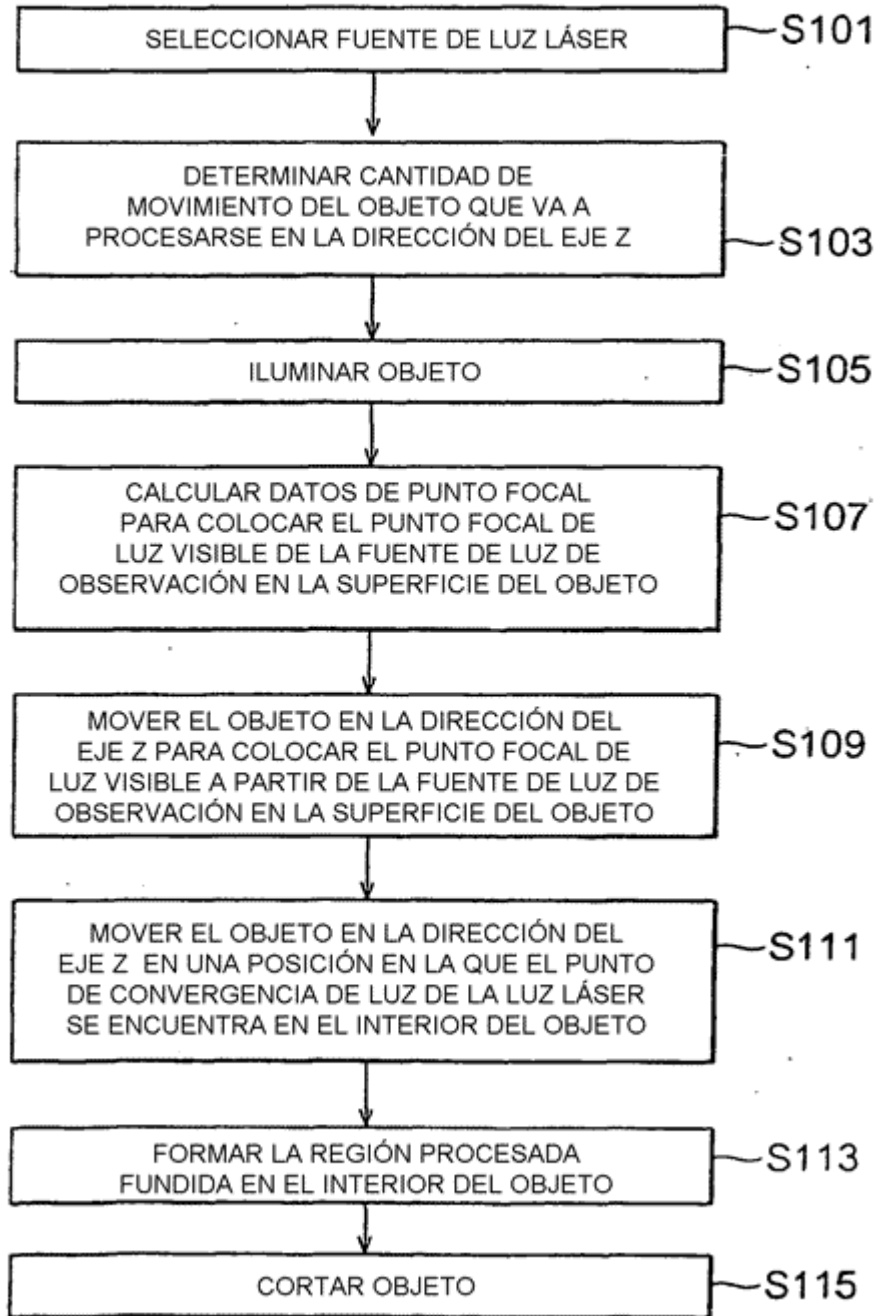


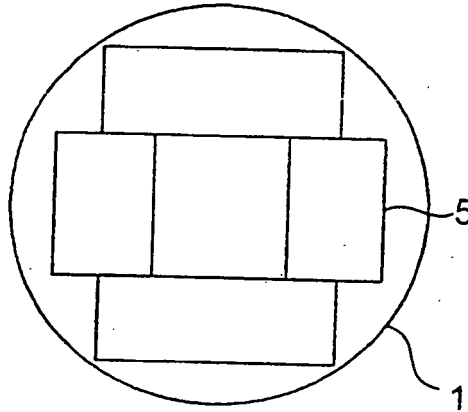
Fig.14



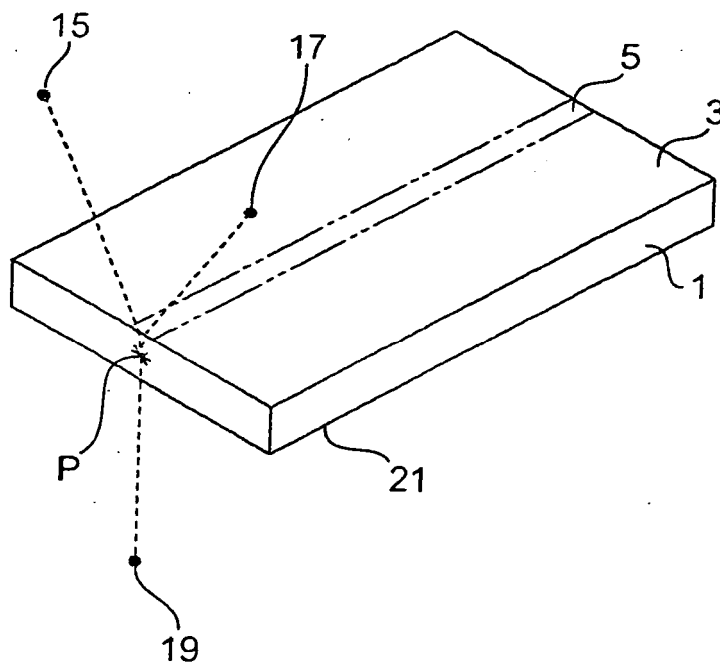
**Fig.15**



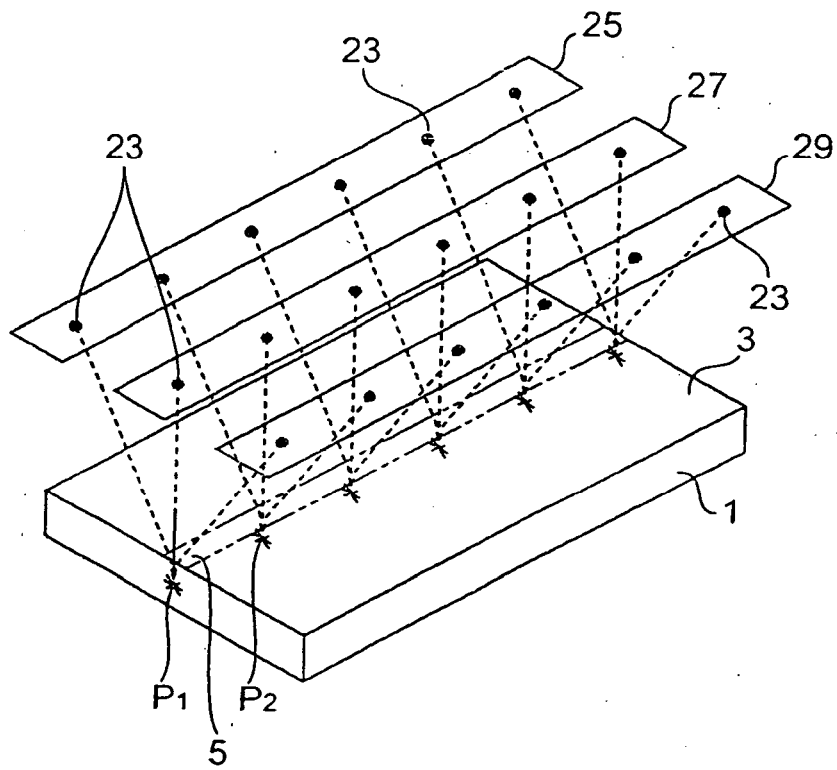
**Fig.16**



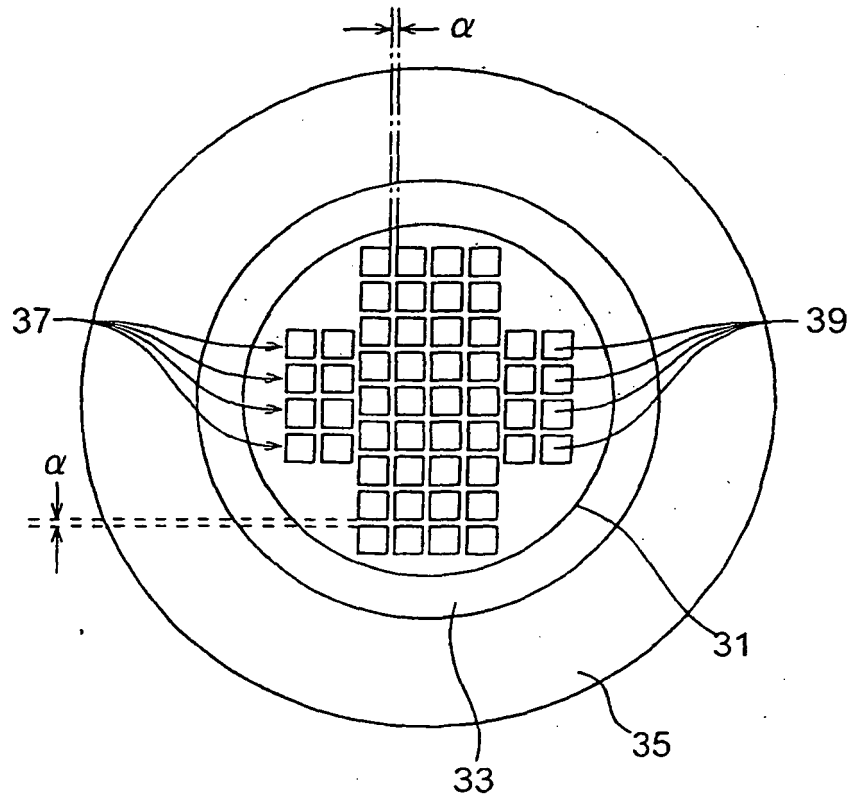
**Fig.17**



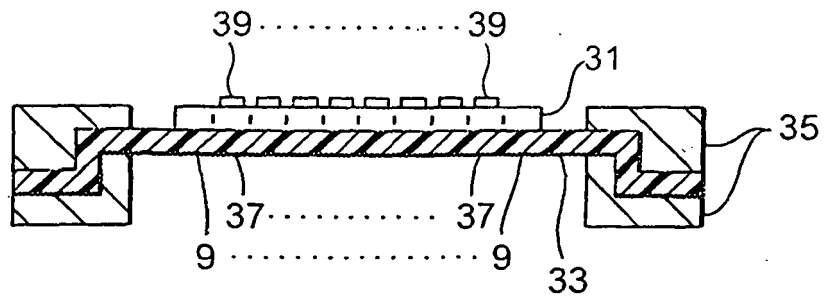
**Fig.18**



**Fig.19**

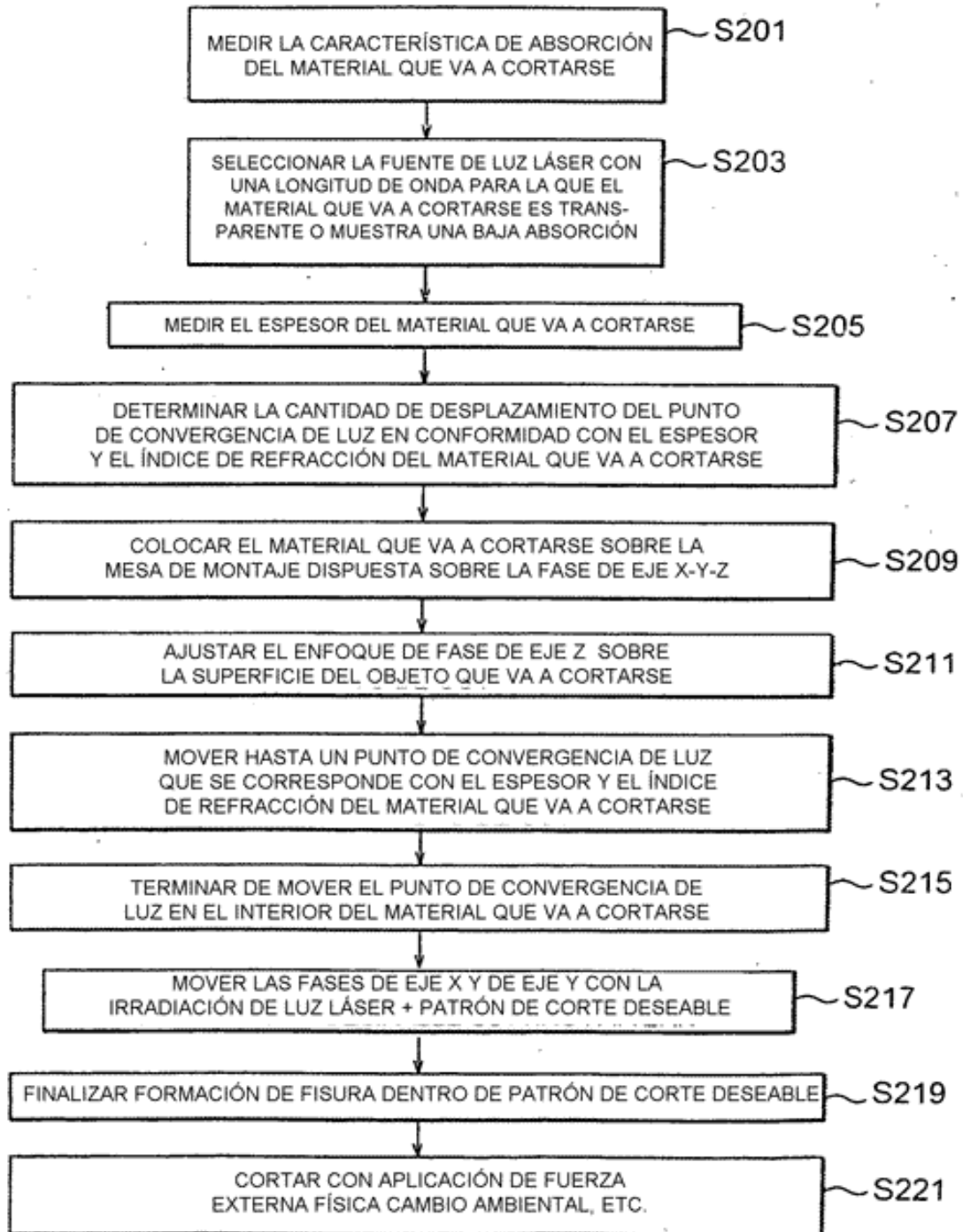


**Fig.20**

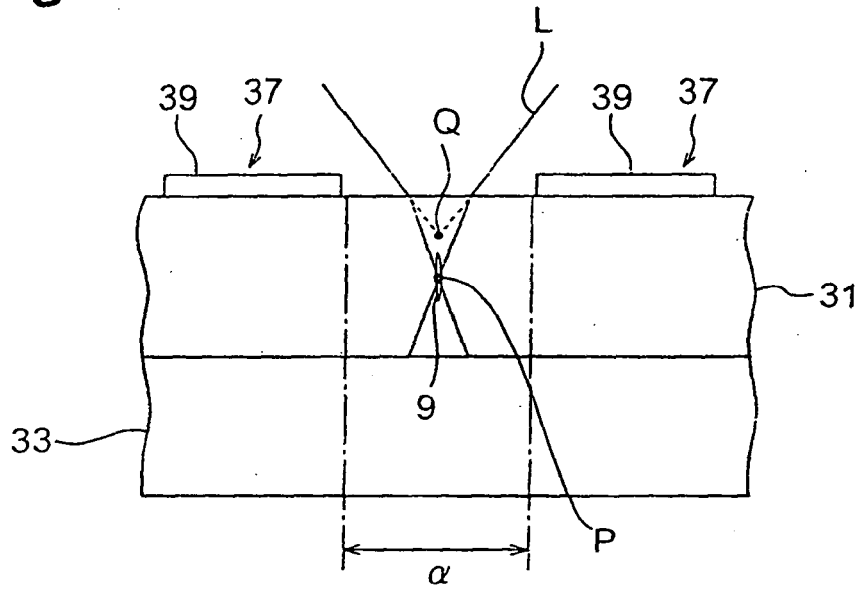




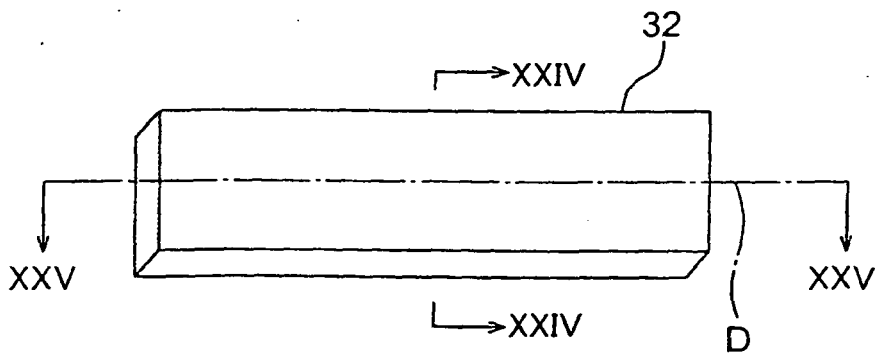
**Fig.21**



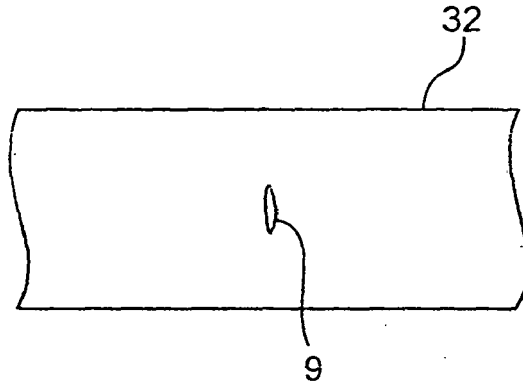
**Fig.22**



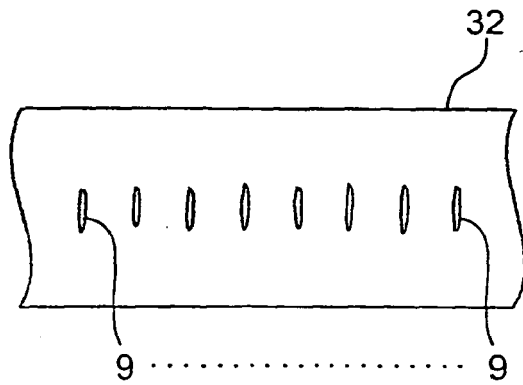
**Fig.23**



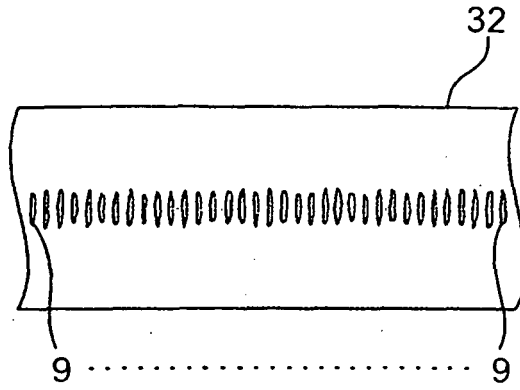
**Fig.24**



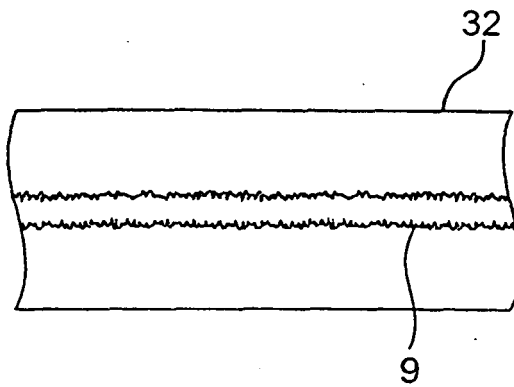
**Fig.25**



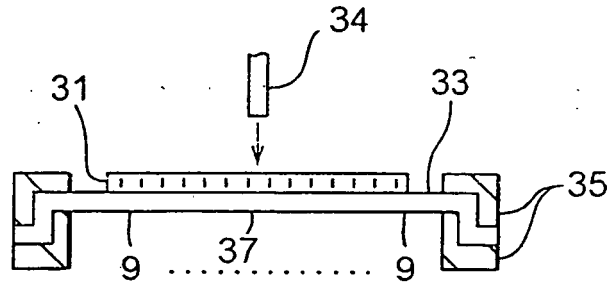
**Fig.26**



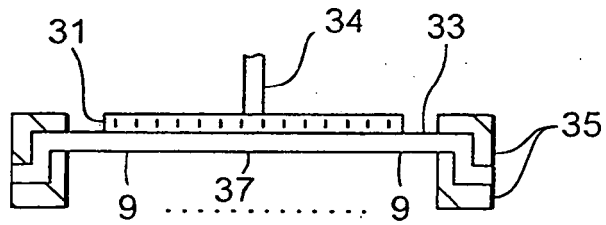
**Fig.27**



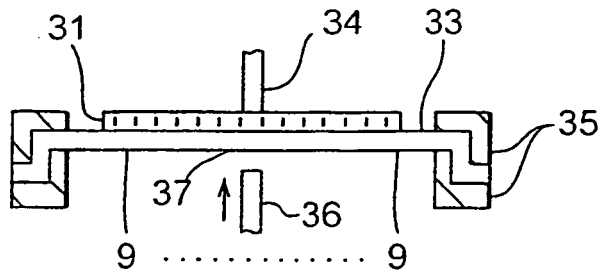
**Fig.28**



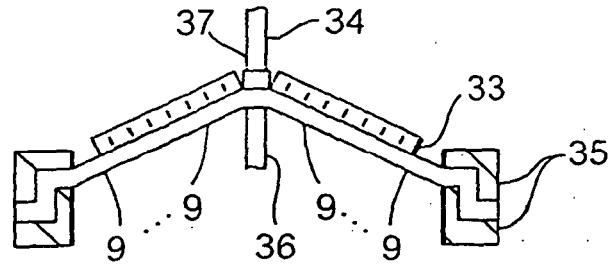
**Fig.29**



**Fig.30**



**Fig.31**



**Fig.32**

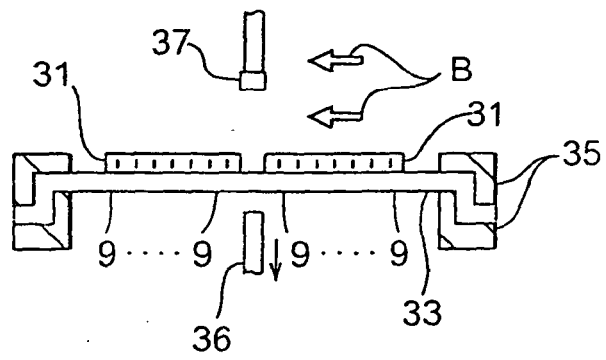


Fig.33

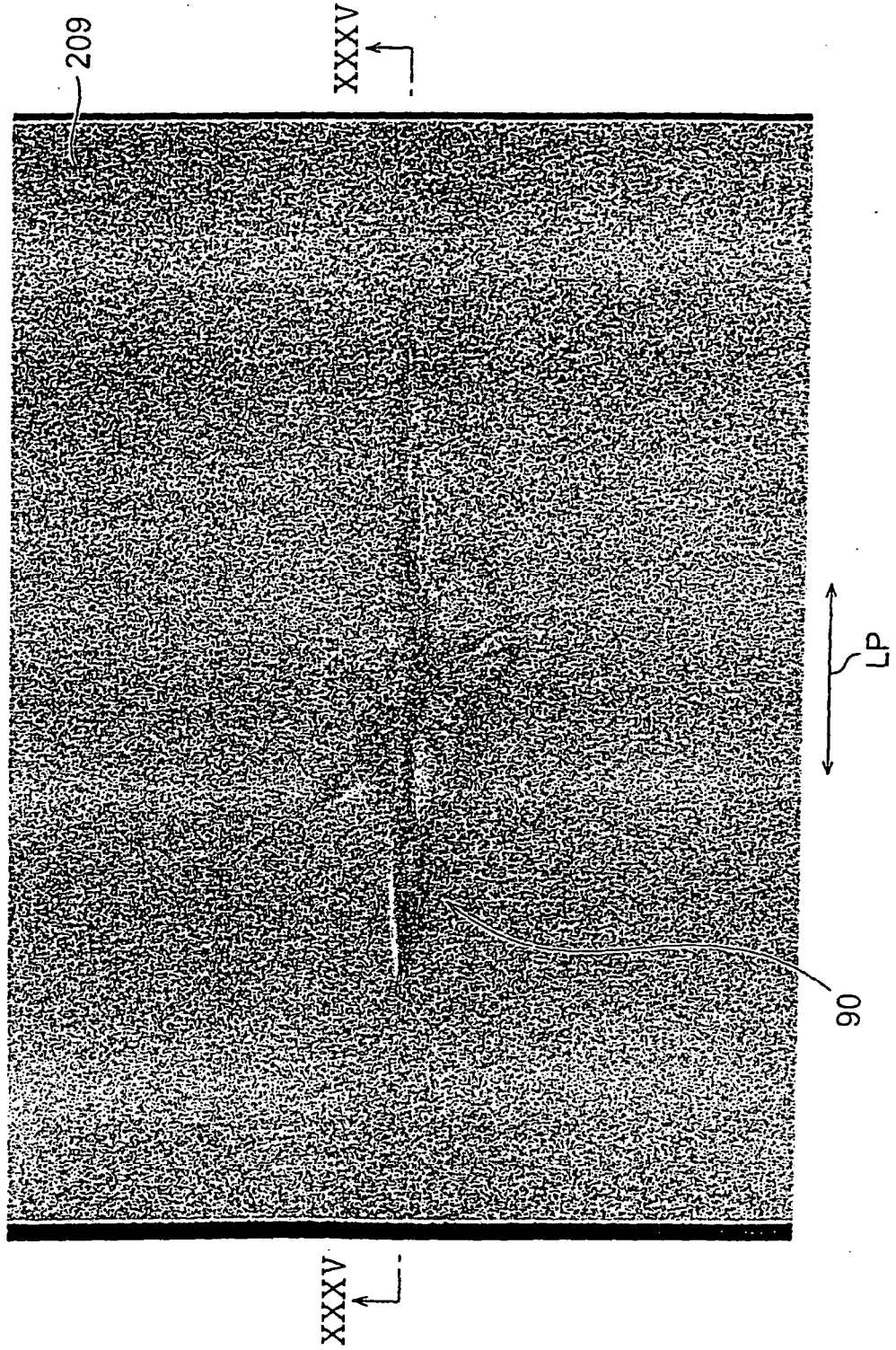
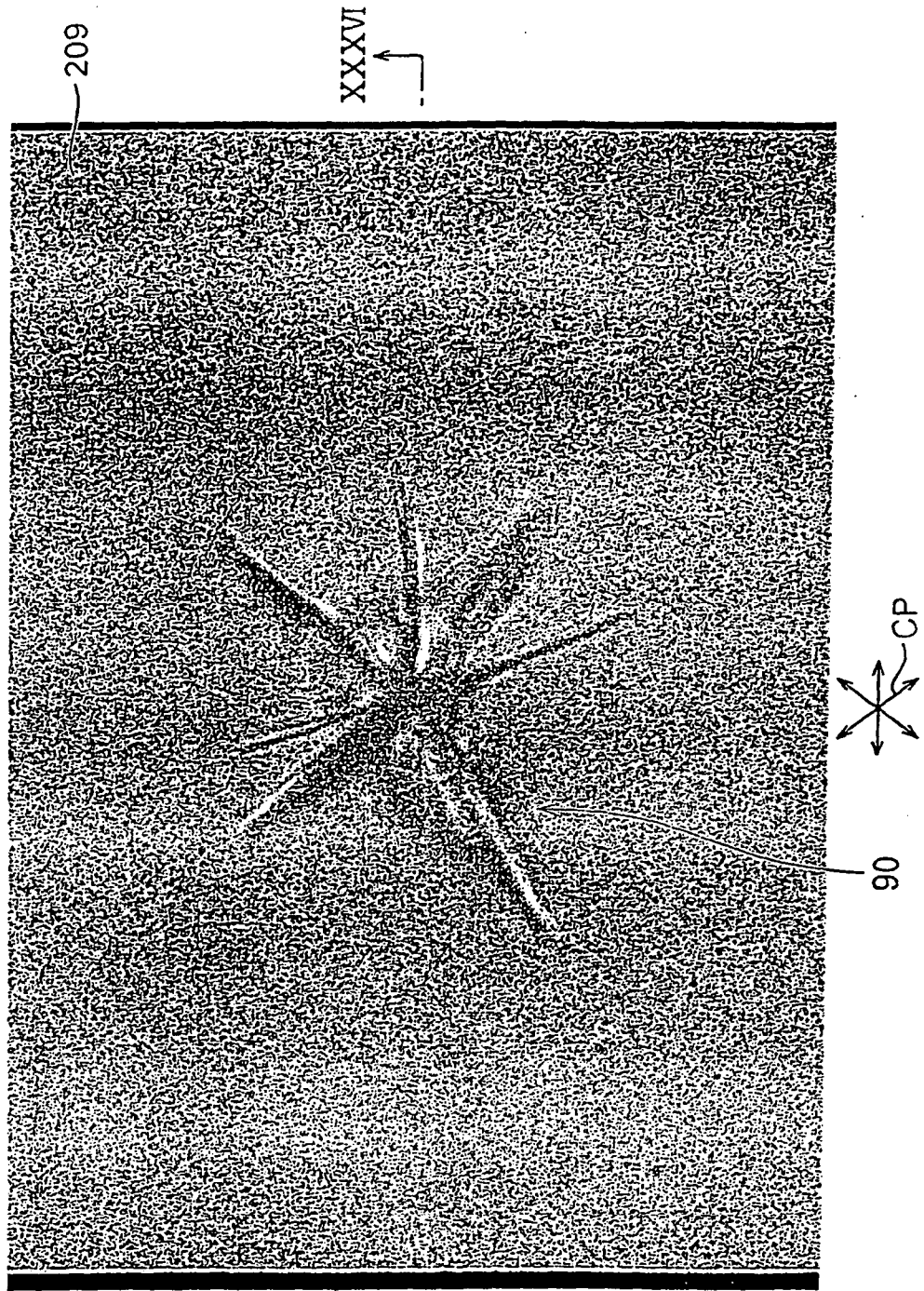


Fig. 34





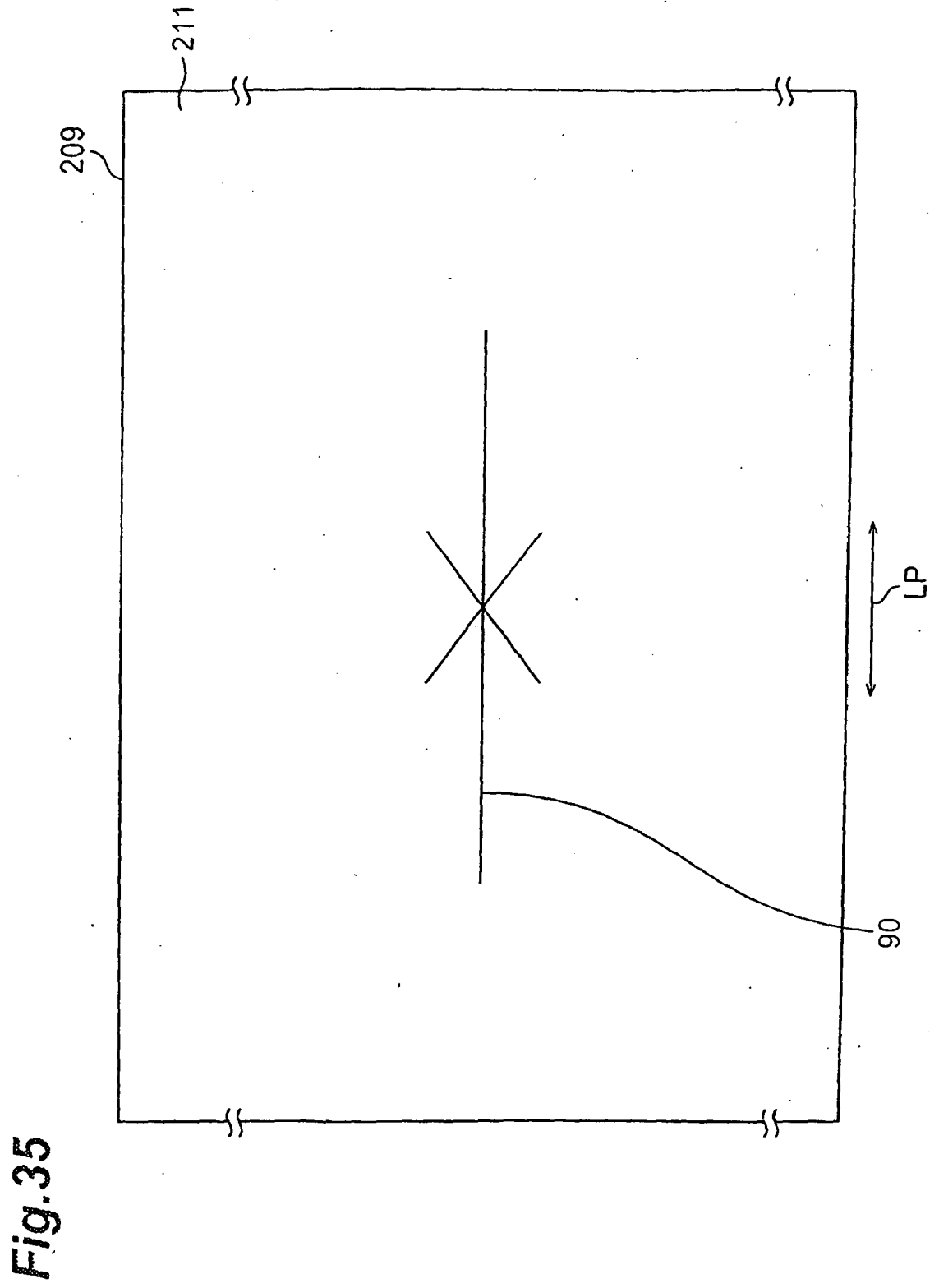
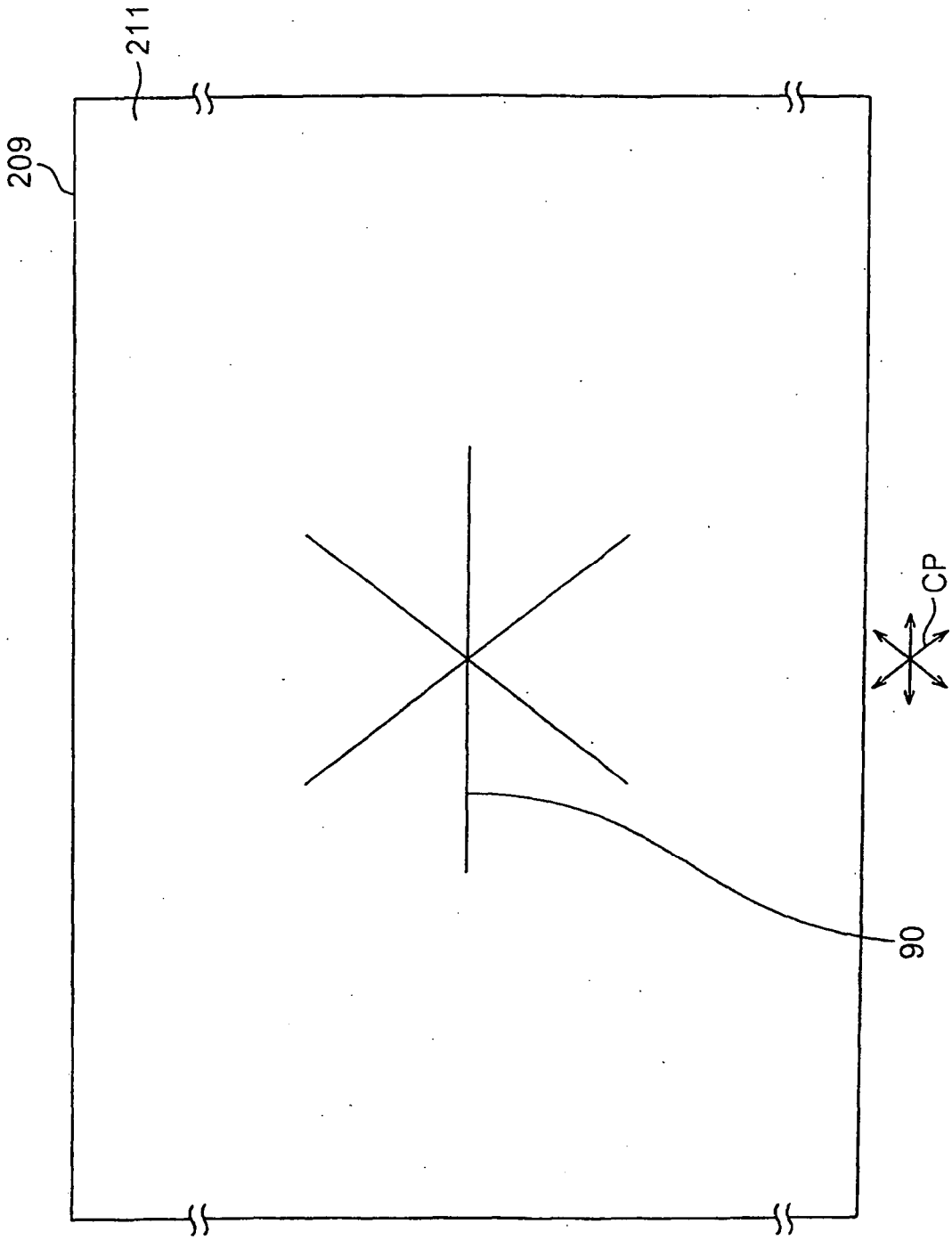
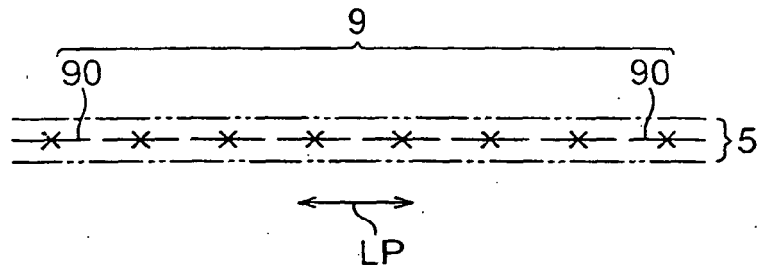


Fig. 35

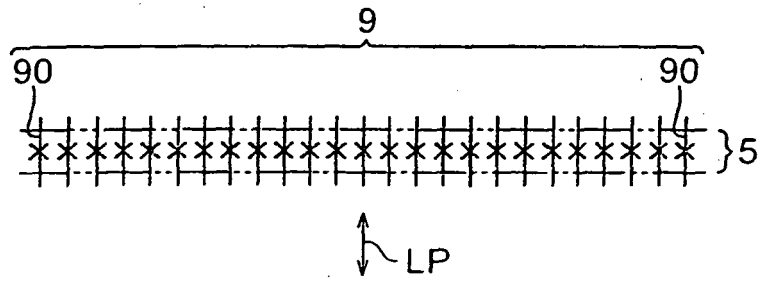
Fig.36



**Fig.37**



**Fig.38**



**Fig.39**

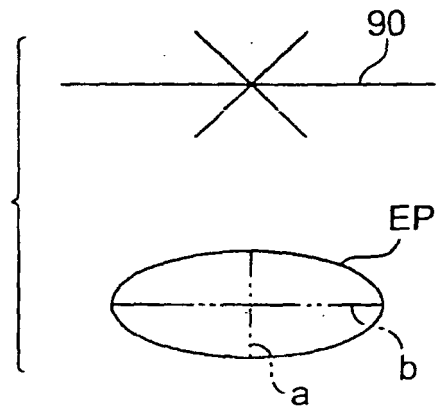
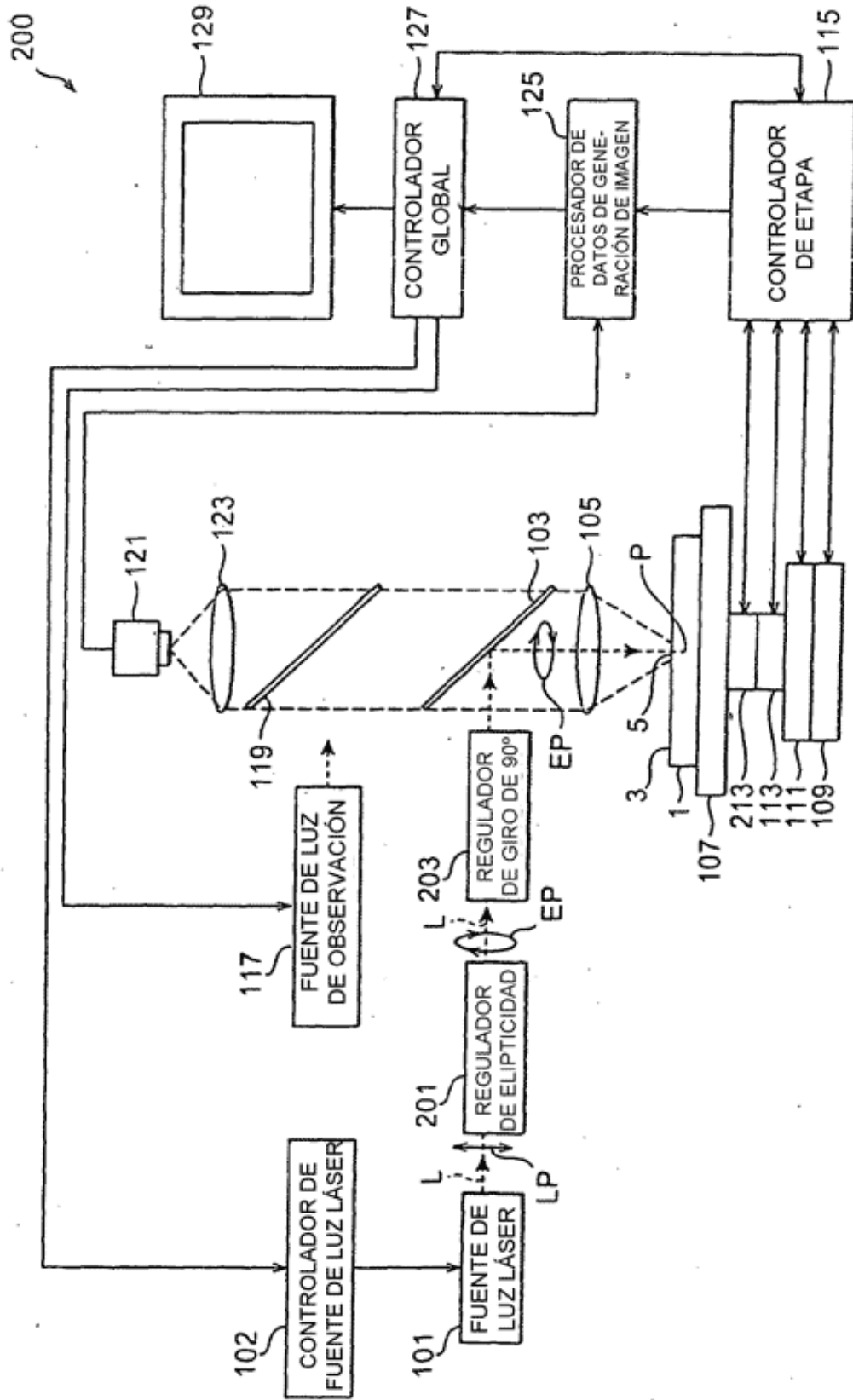
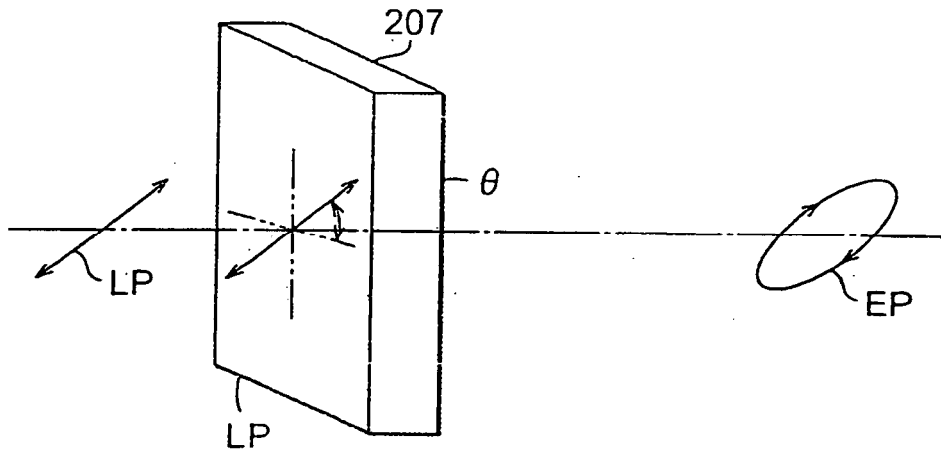


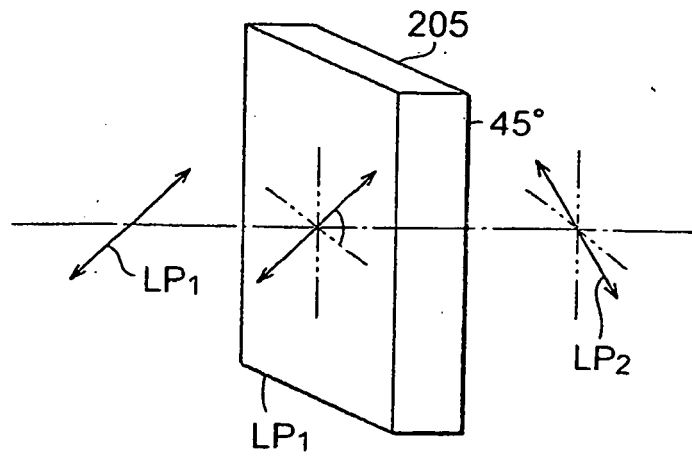
Fig.40



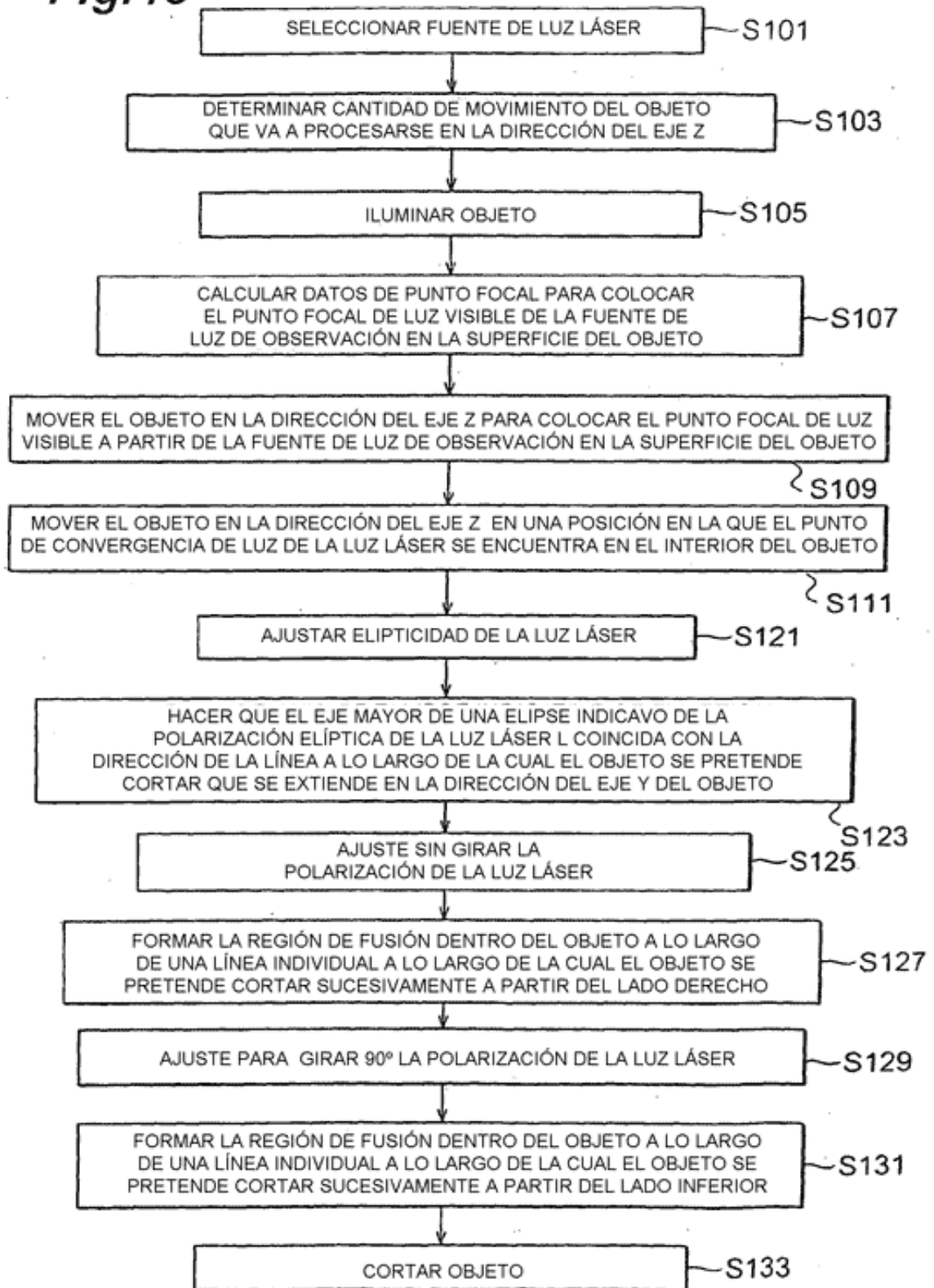
**Fig.41**



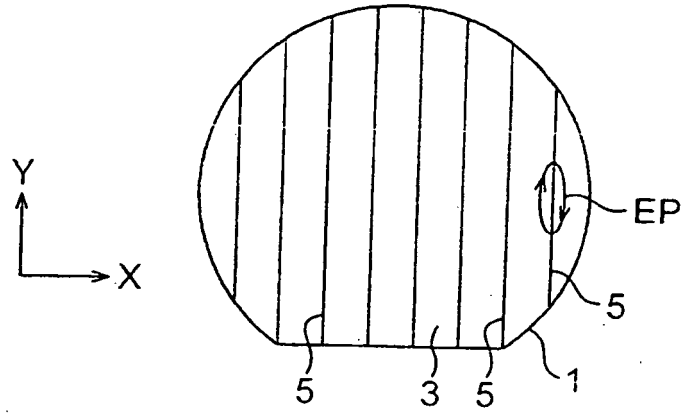
**Fig.42**



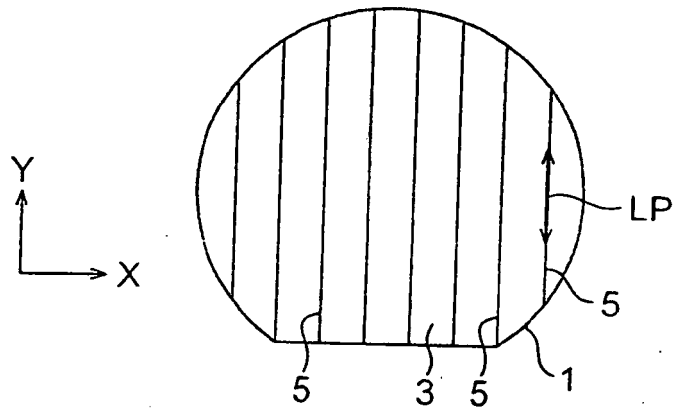
**Fig.43**



**Fig.44**

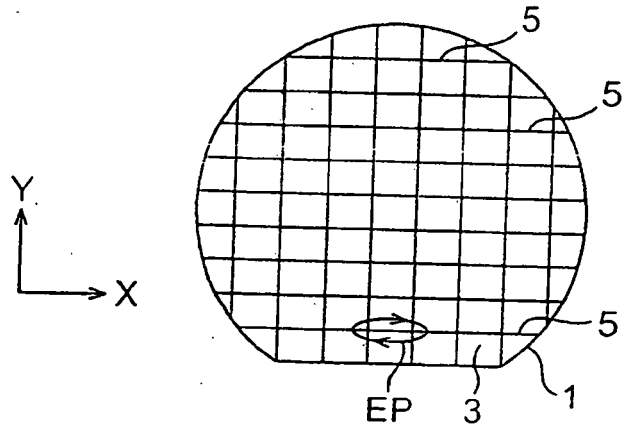


**Fig.45**

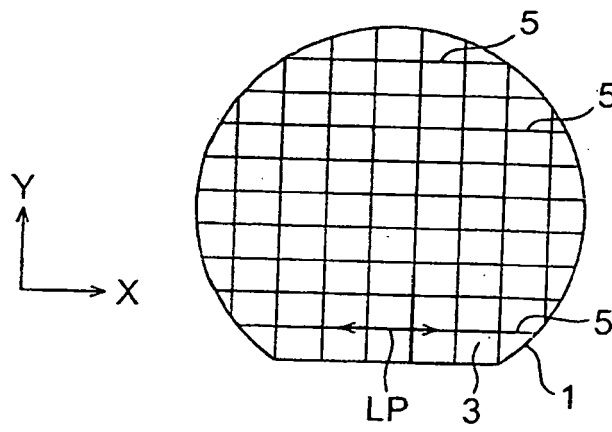


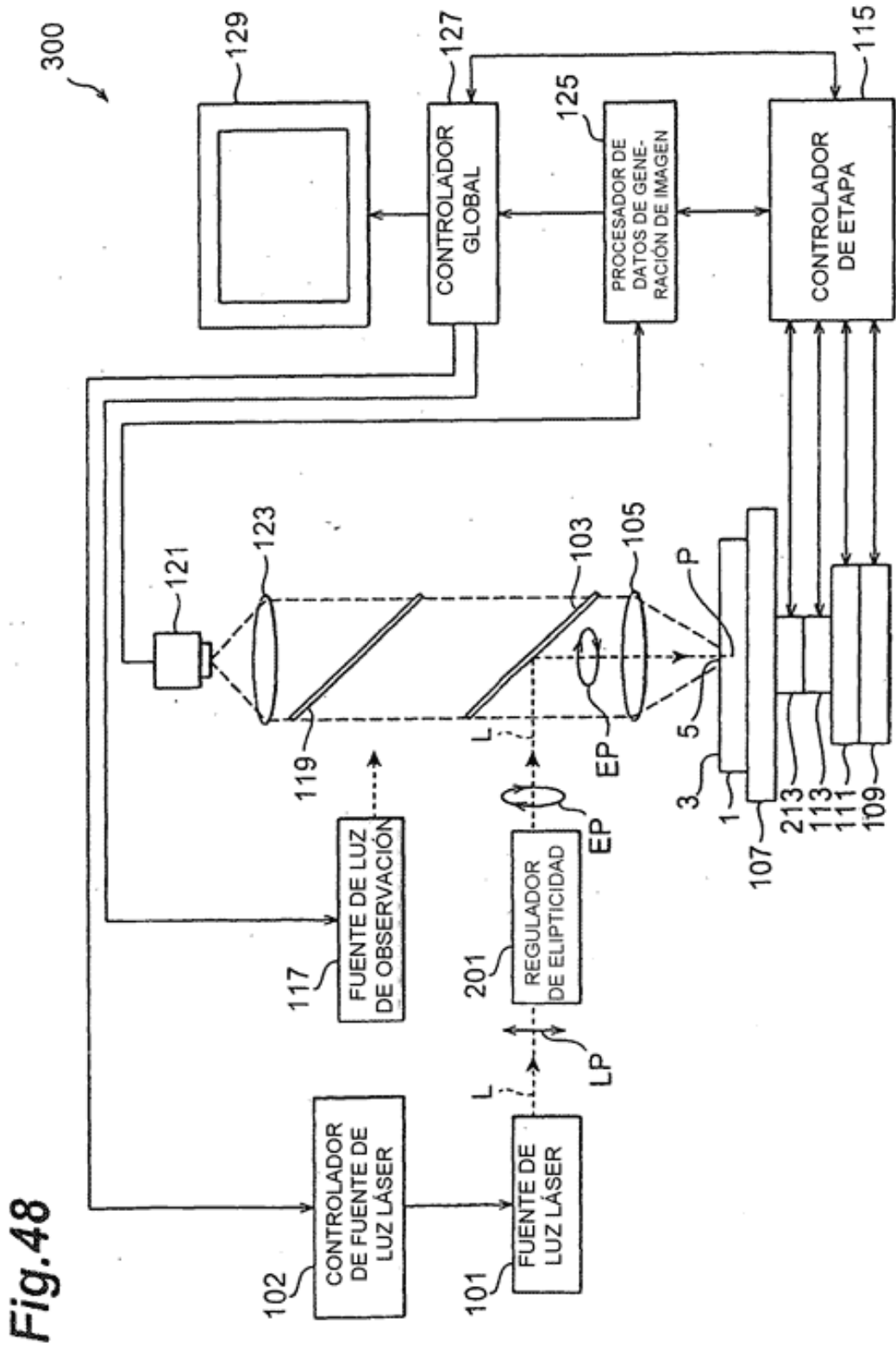


**Fig.46**

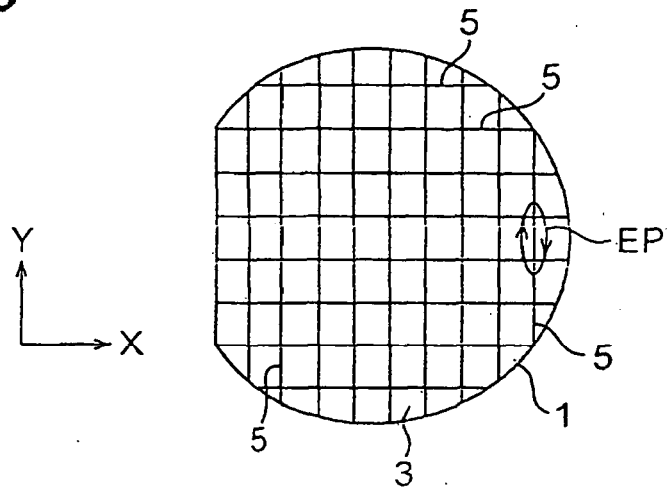


**Fig.47**

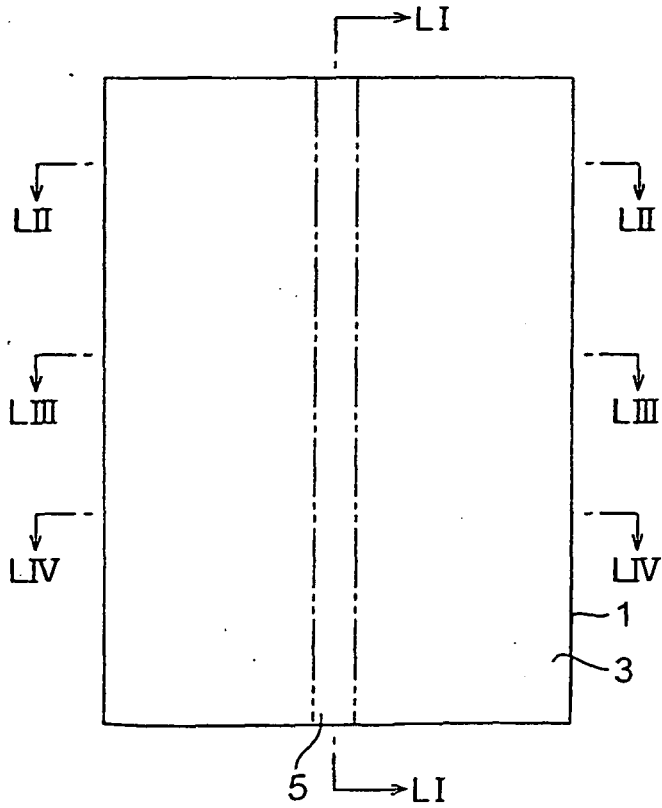




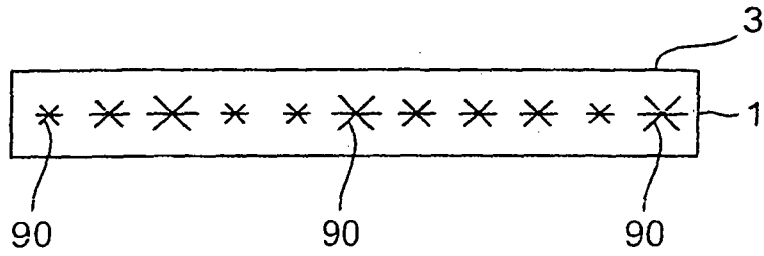
**Fig.49**



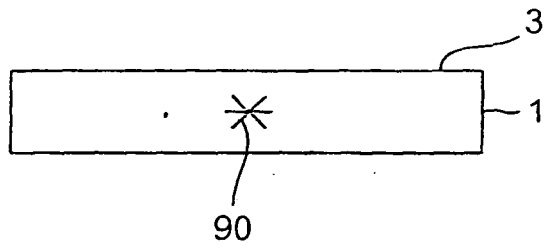
**Fig.50**



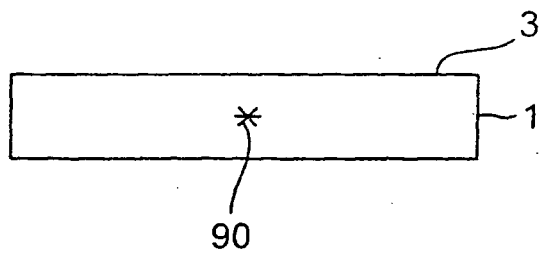
**Fig.51**



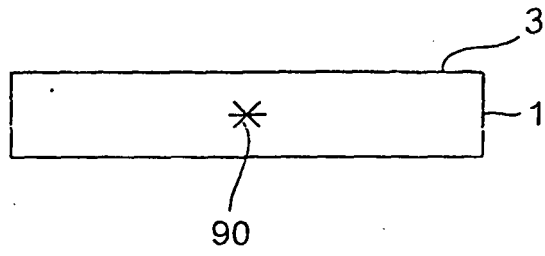
**Fig.52**



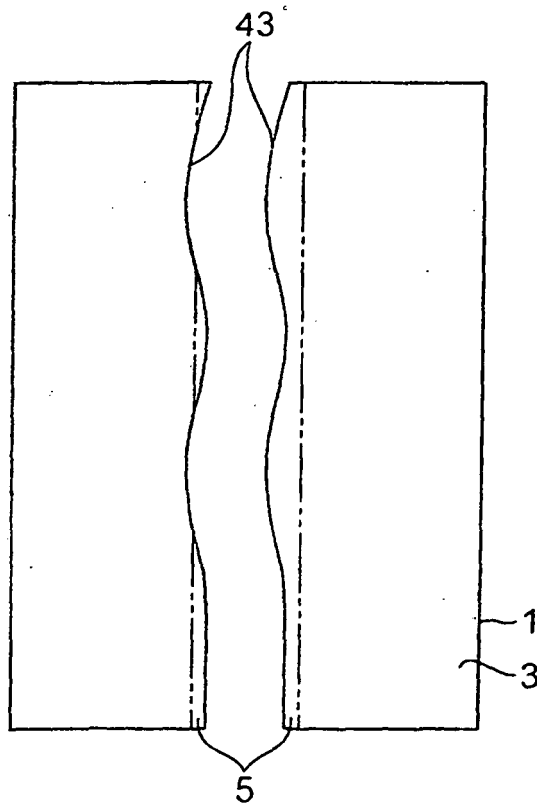
**Fig.53**



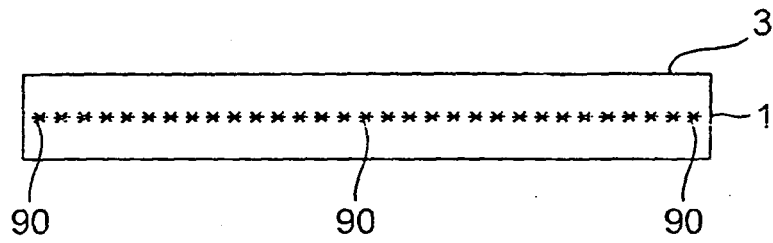
**Fig.54**



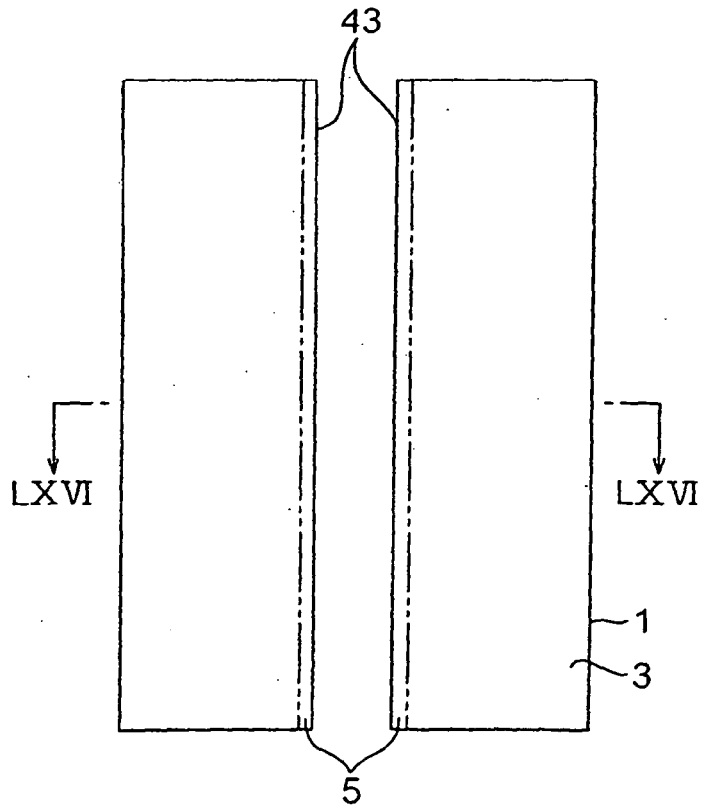
**Fig.55**



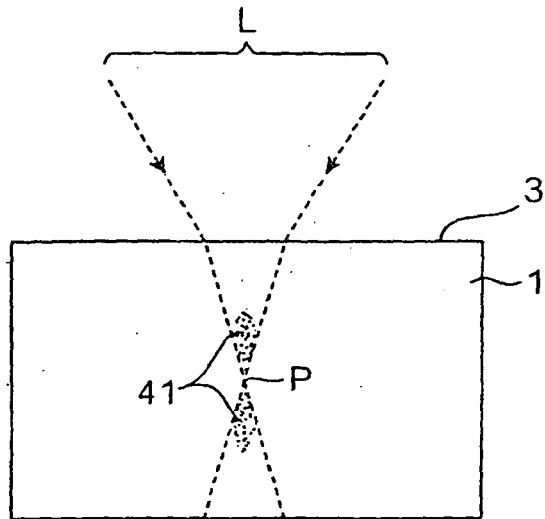
**Fig.56**



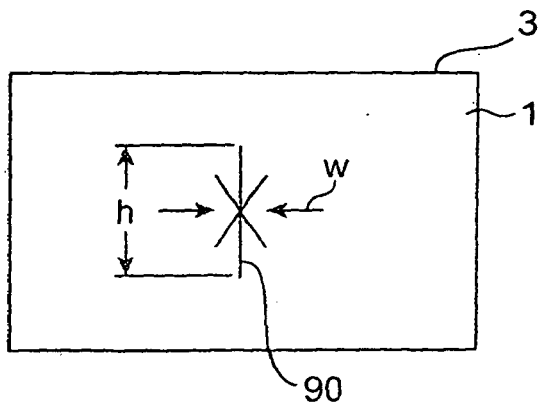
**Fig.57**



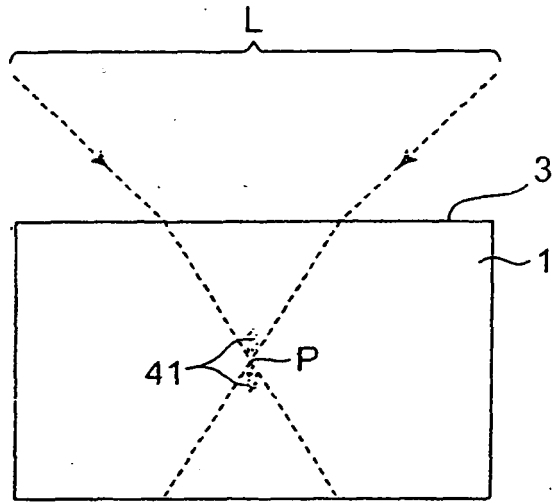
**Fig.58**



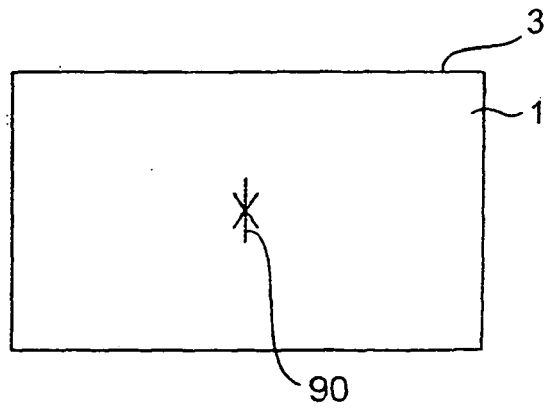
**Fig.59**



**Fig.60**

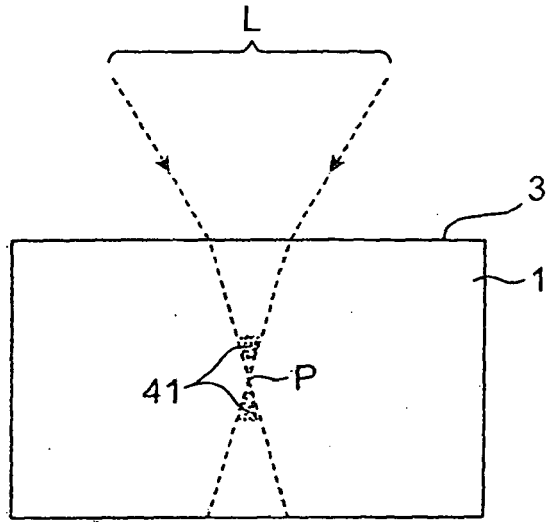


**Fig.61**

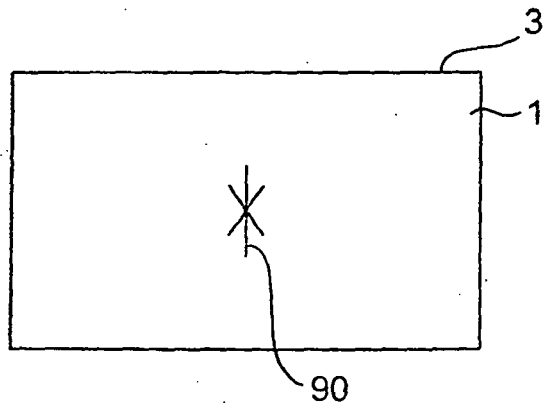




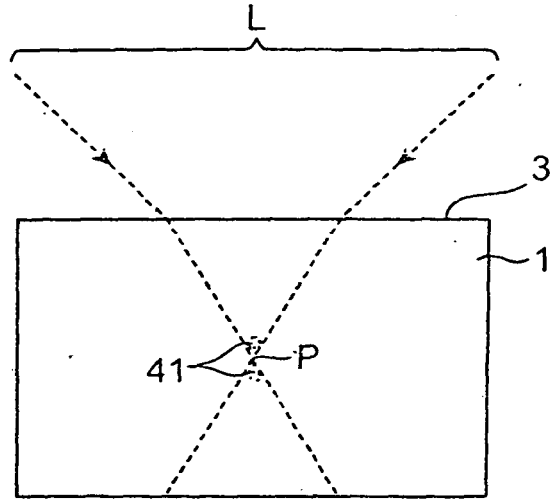
**Fig.62**



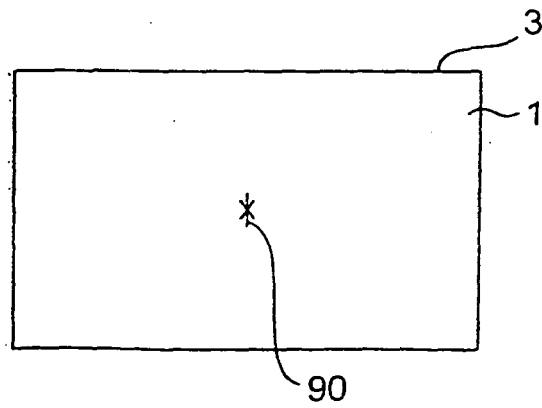
**Fig.63**



**Fig.64**



**Fig.65**



**Fig.66**

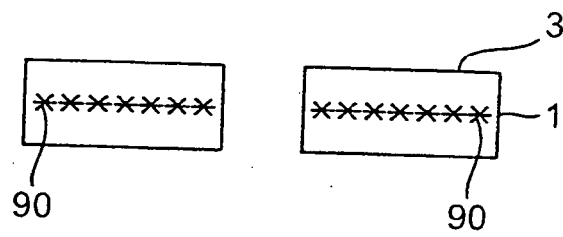


Fig.67

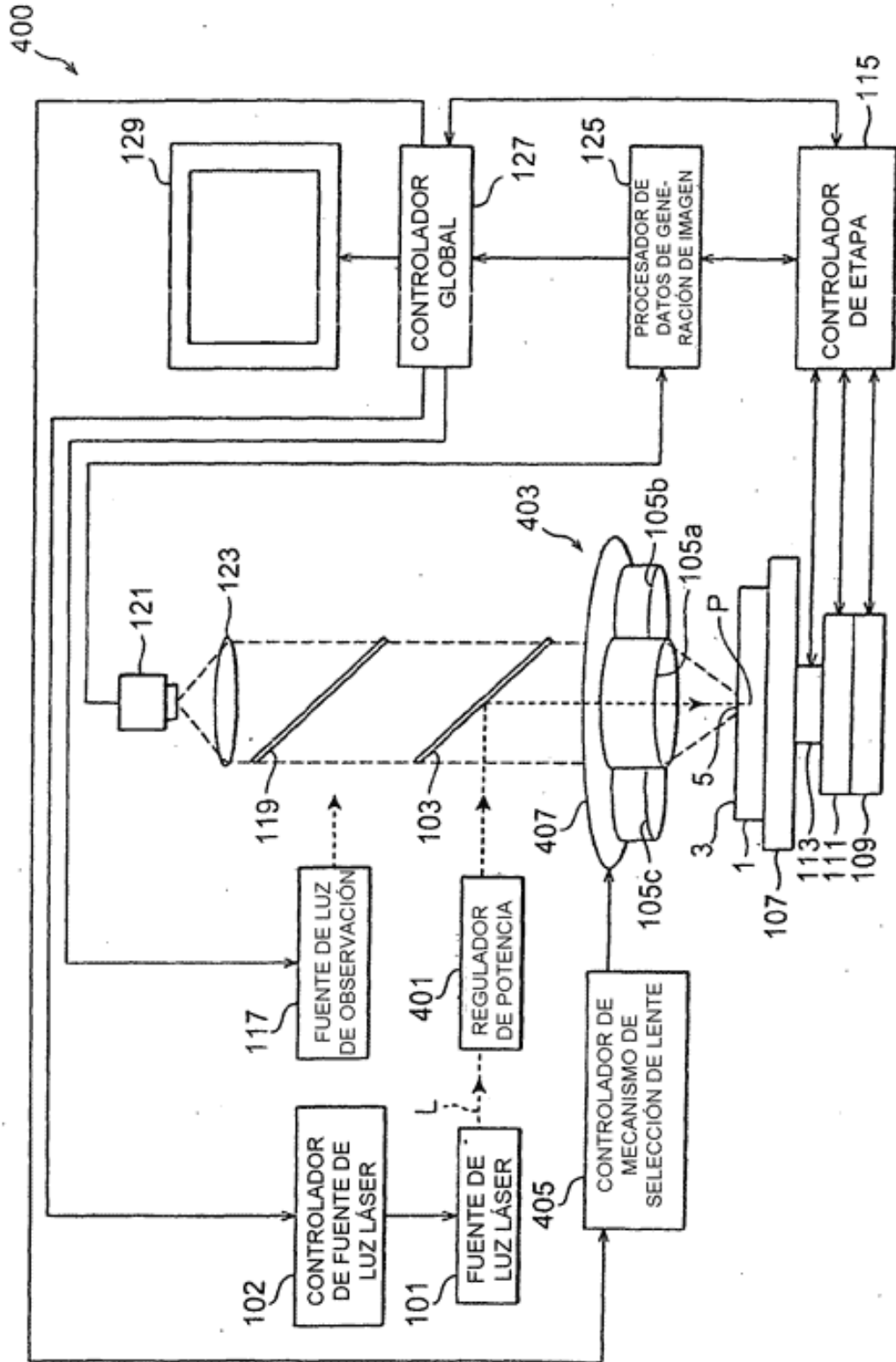
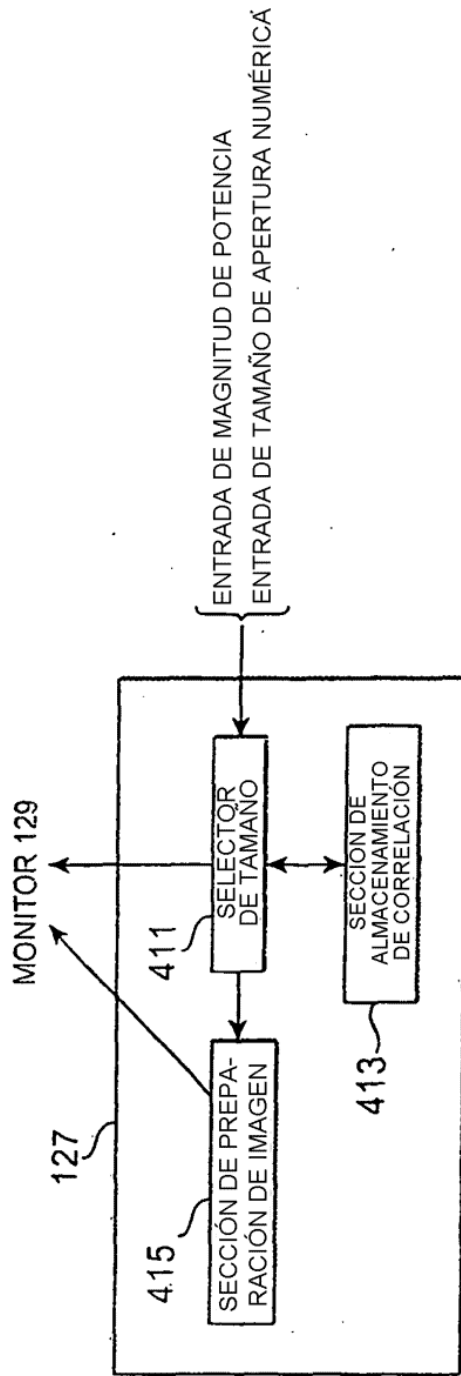


Fig. 68



**Fig.69**

CONJUNTO		TAMAÑO ( $\mu\text{m}$ )
DENSIDAD DE POTENCIA ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )	APERTURA NUMÉRICA	
$1.24 \times 10^{11}$	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

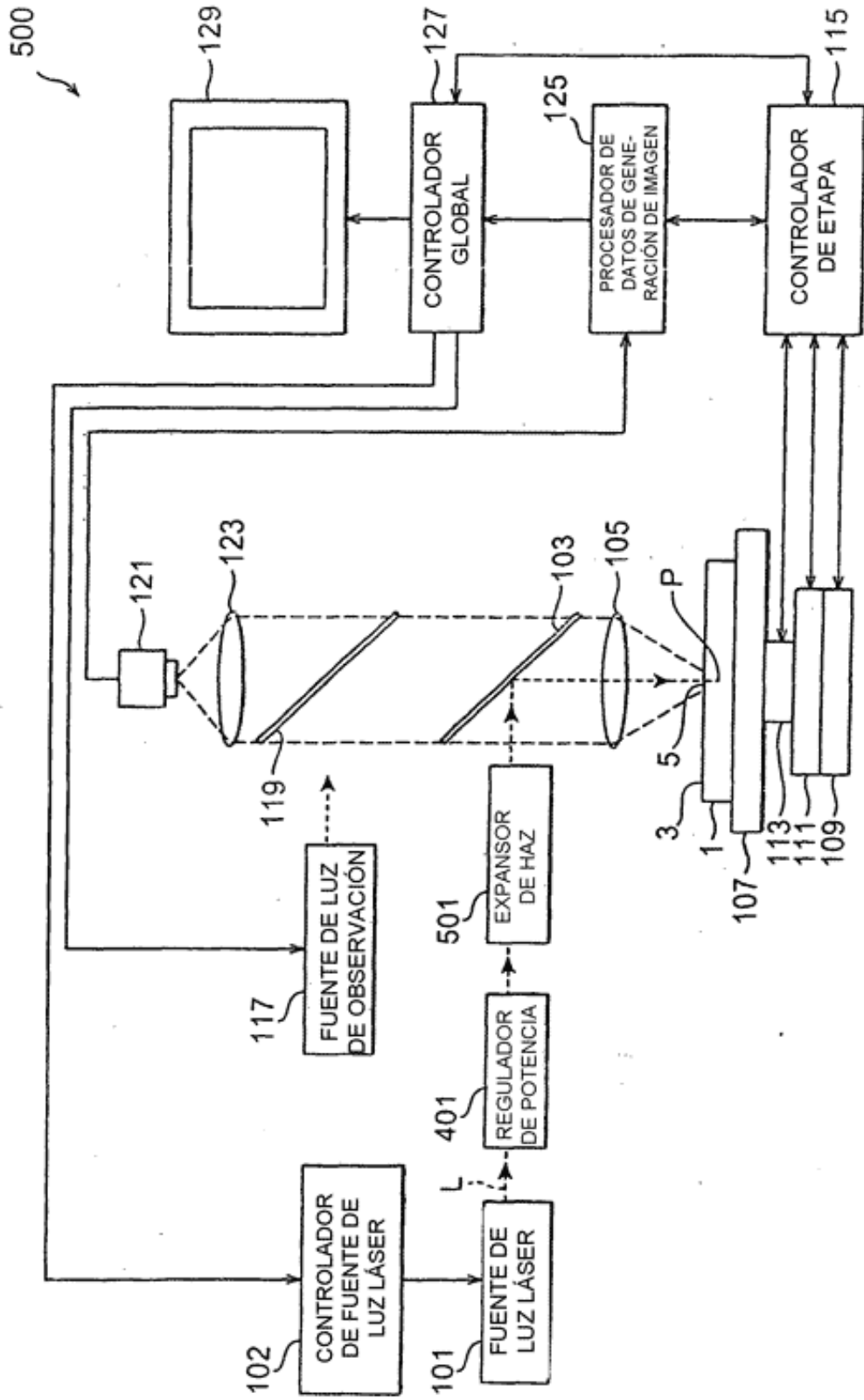
**Fig.70**

APERTURA NUMÉRICA	TAMAÑO ( $\mu\text{m}$ )
0.55	150
0.8	60

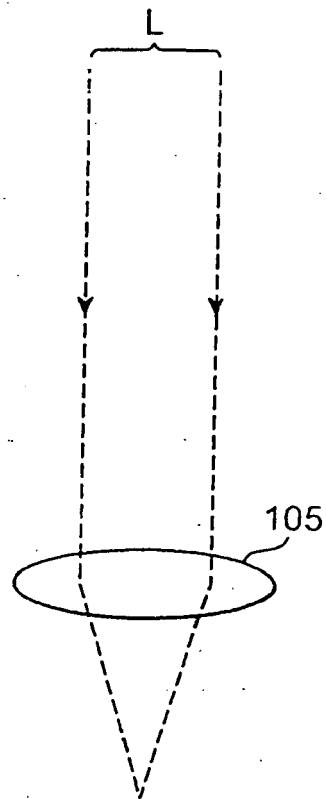
**Fig.71**

DENSIDAD DE POTENCIA ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )	TAMAÑO ( $\mu\text{m}$ )
$1.19 \times 10^{11}$	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**

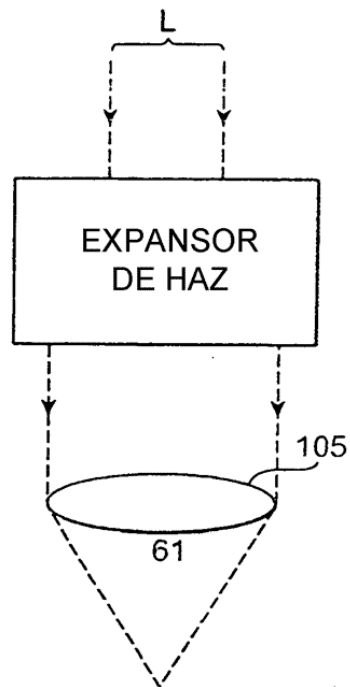
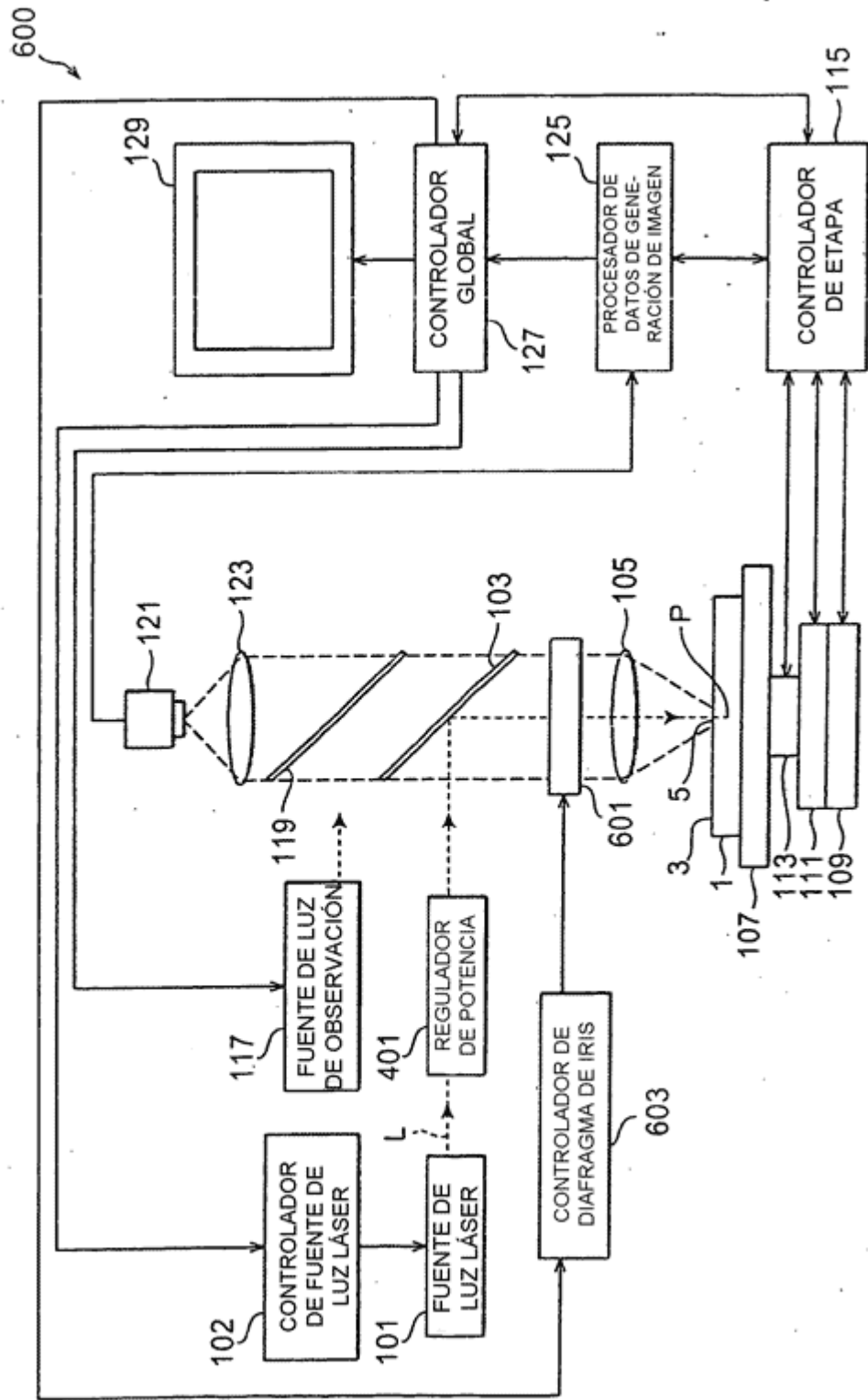
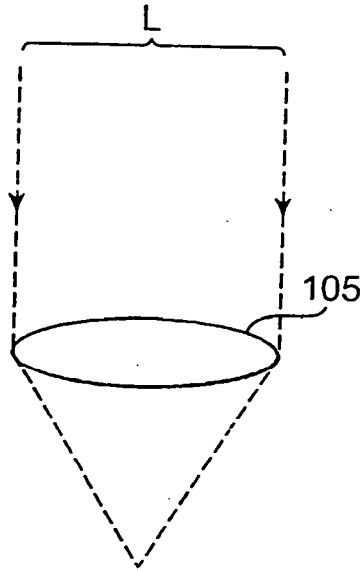


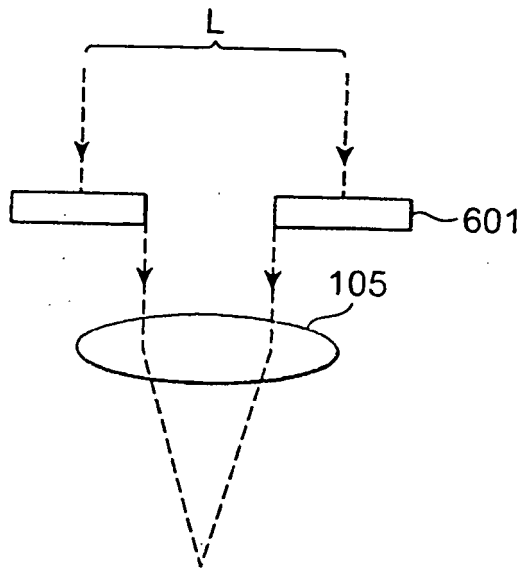
Fig.75



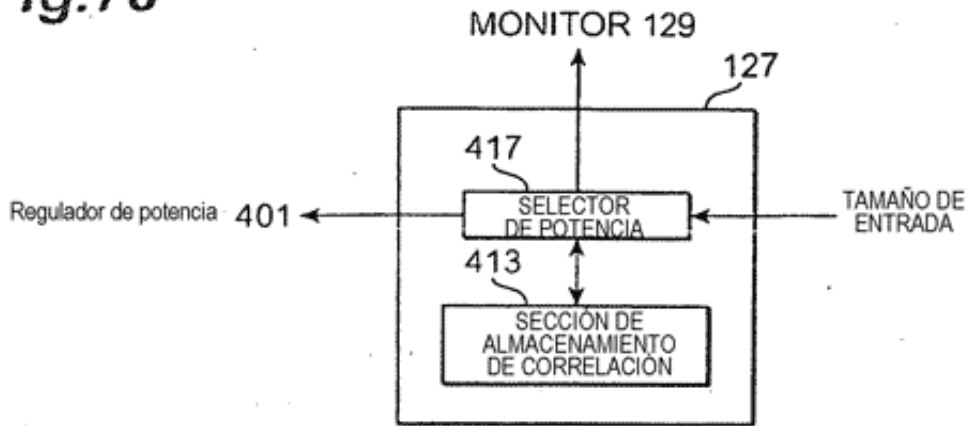
**Fig.76**



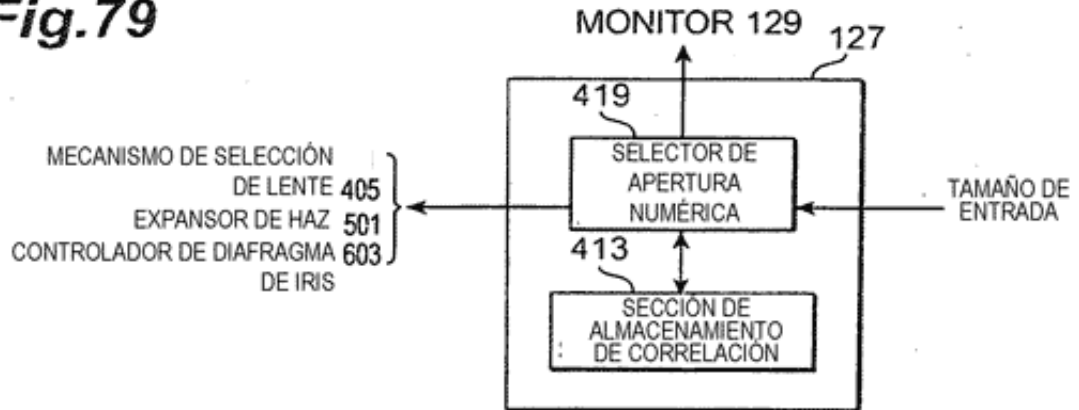
**Fig.77**



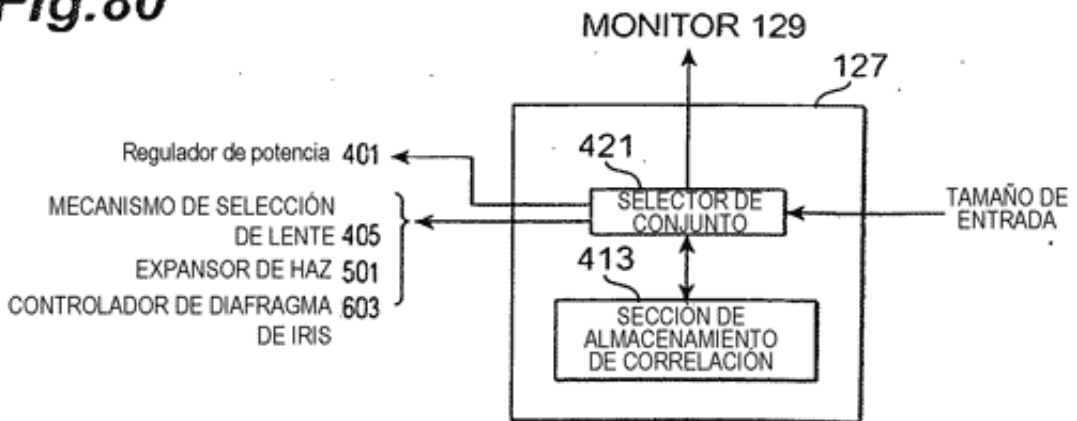
**Fig.78**



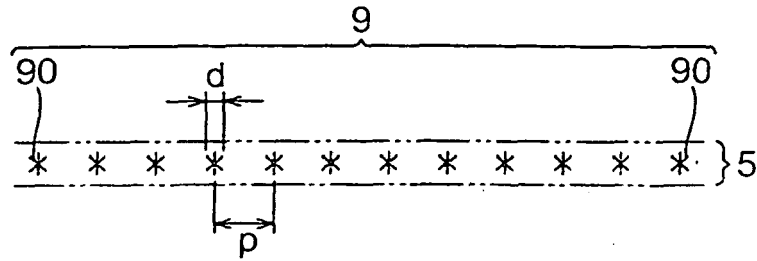
**Fig.79**



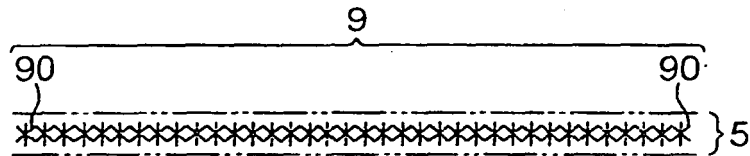
**Fig.80**



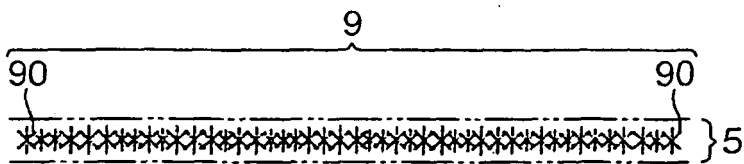
**Fig.81**



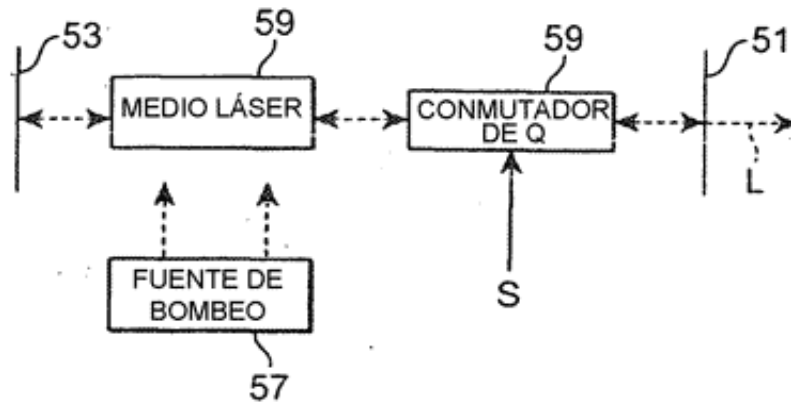
**Fig.82**



**Fig.83**



**Fig.84**



**Fig.85**

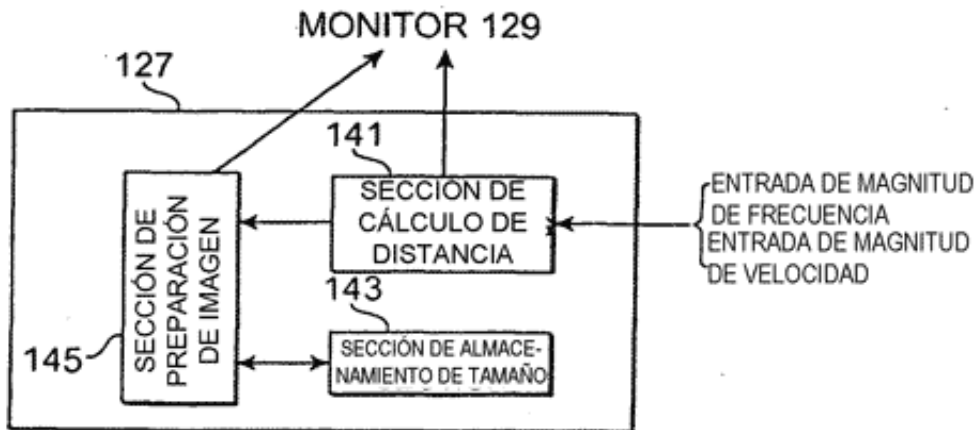


Fig.86

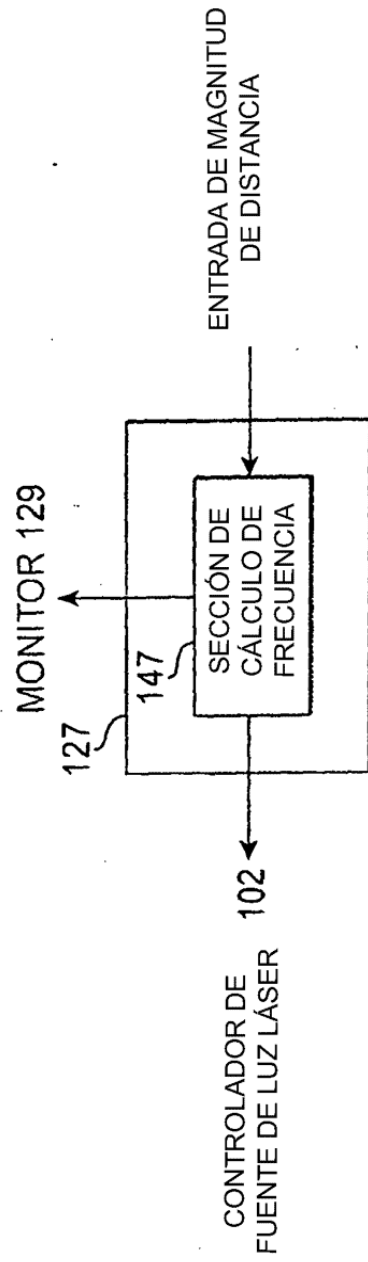
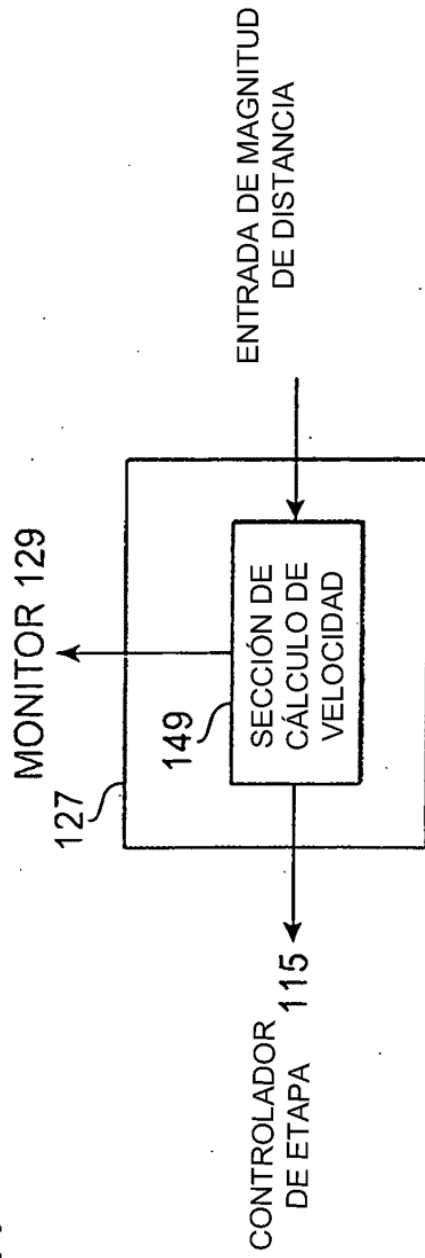
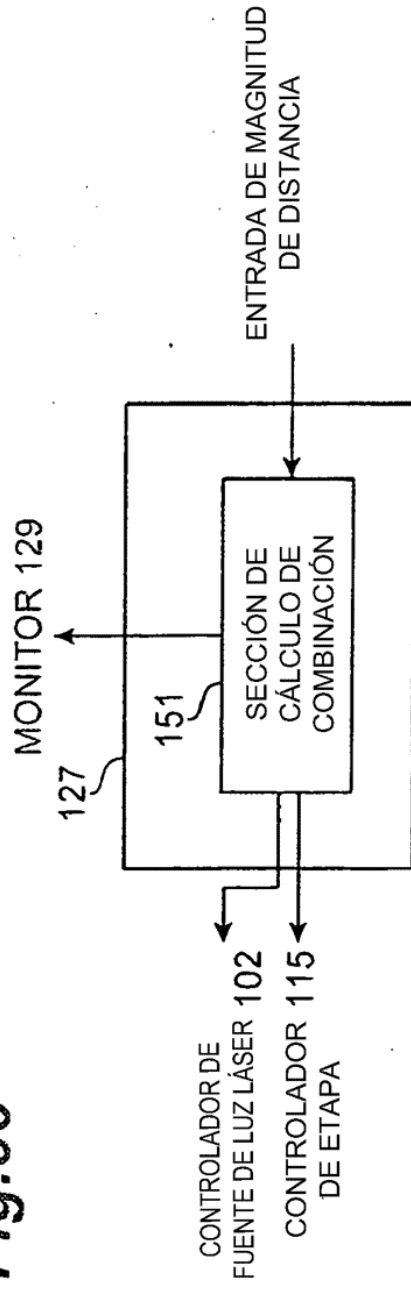


Fig.87

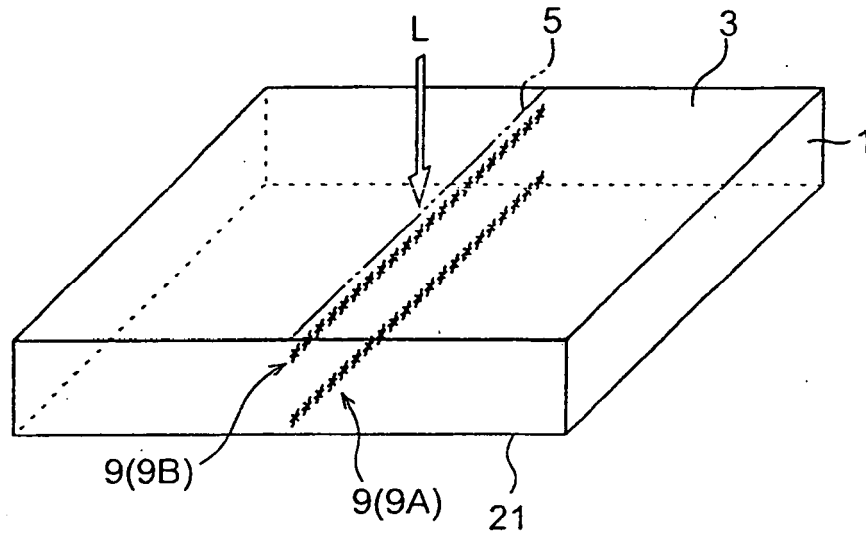




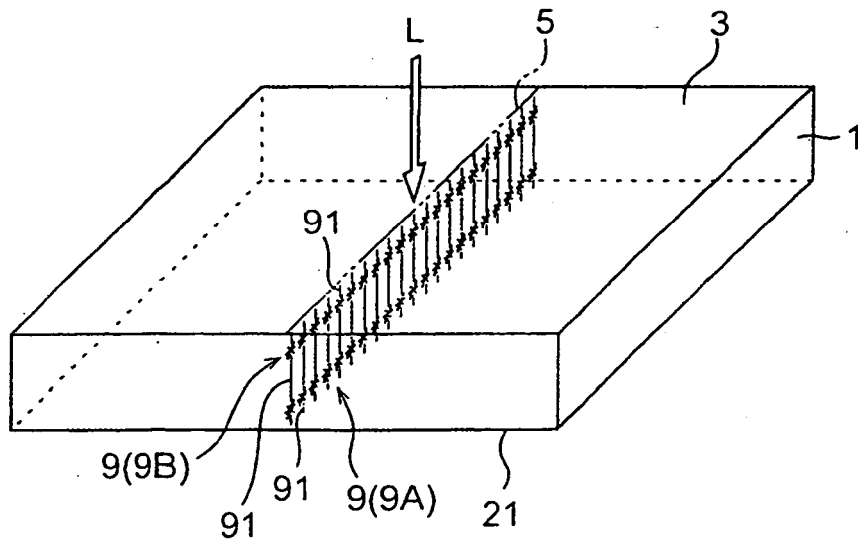
**Fig.88**



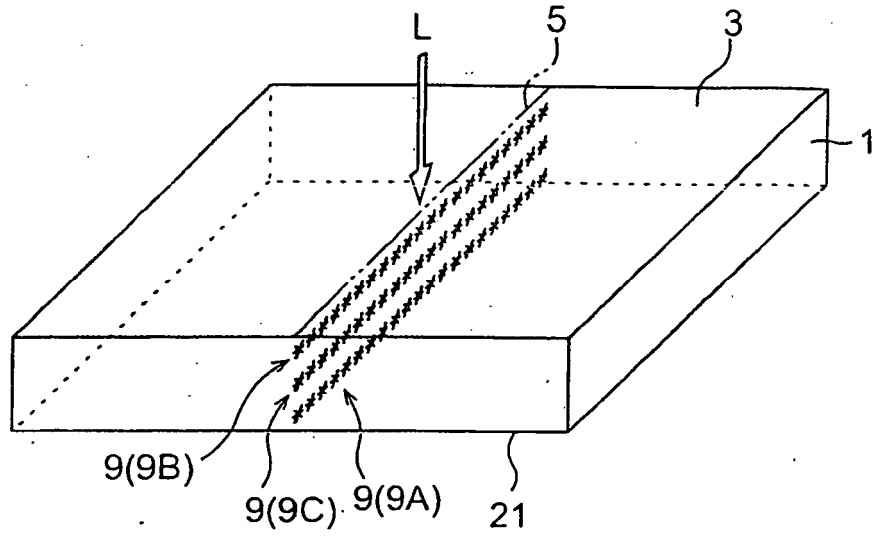
**Fig.89**



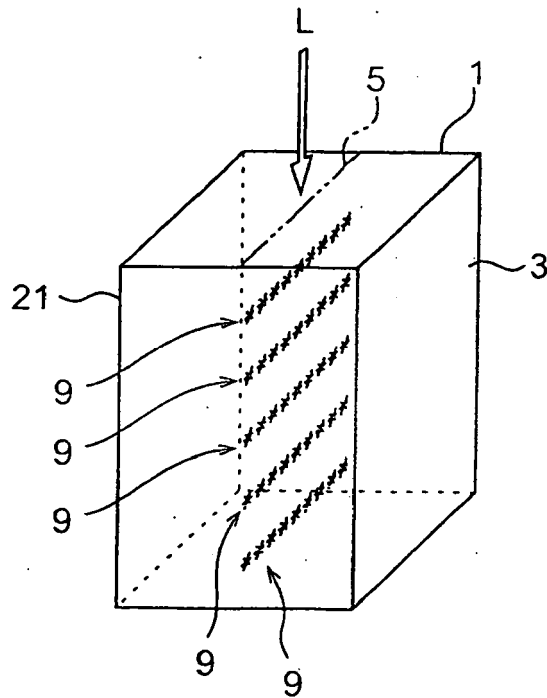
**Fig.90**



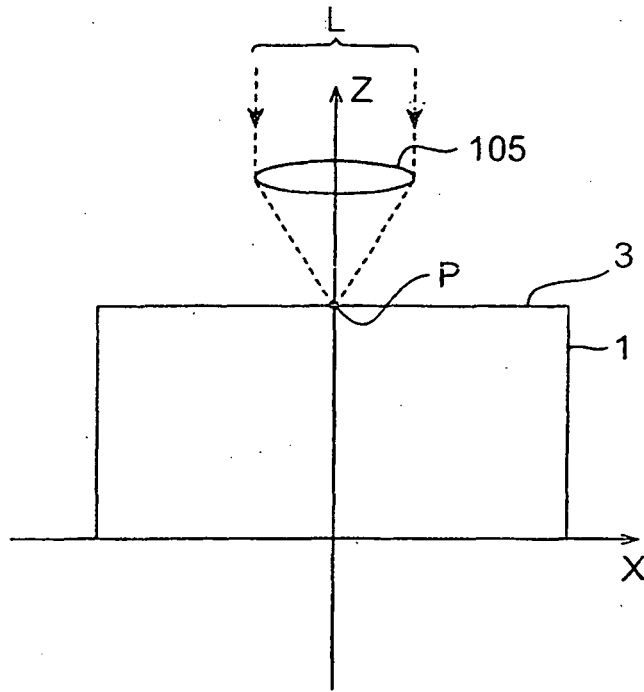
**Fig.91**



**Fig.92**



**Fig.93**



**Fig.94**

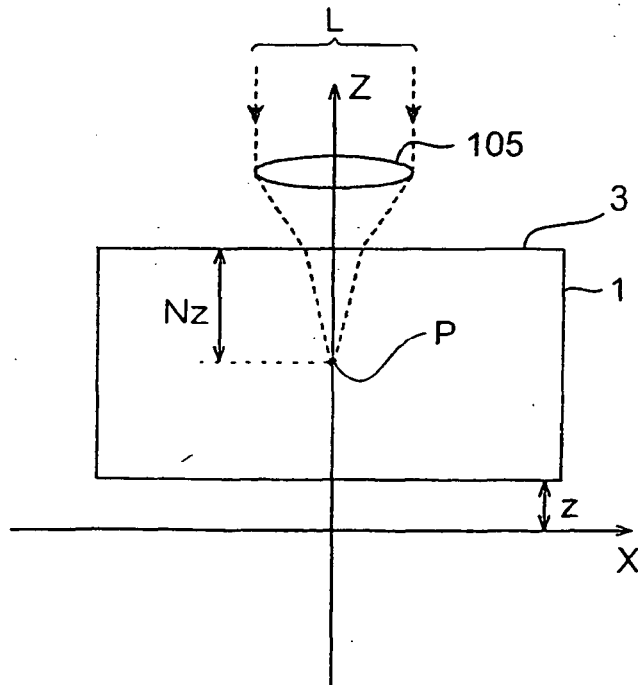
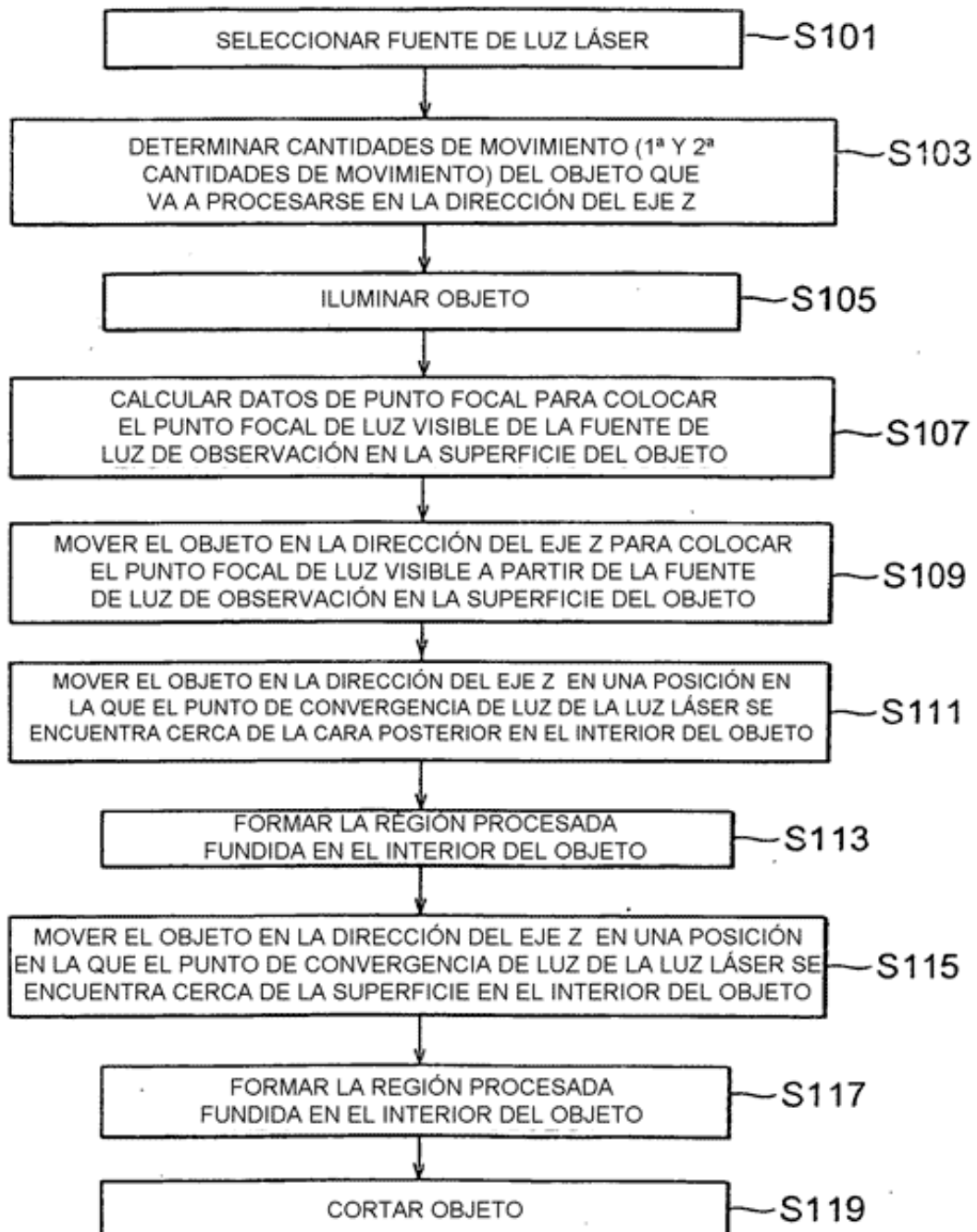
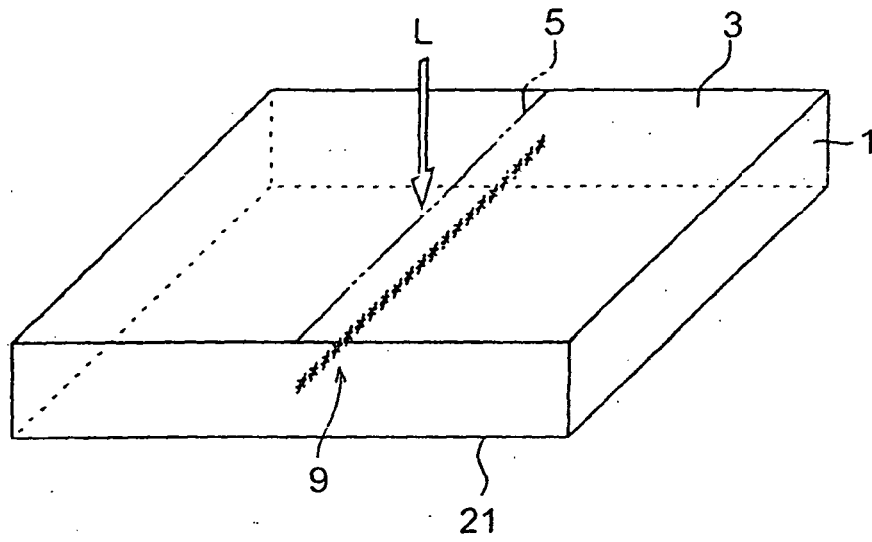


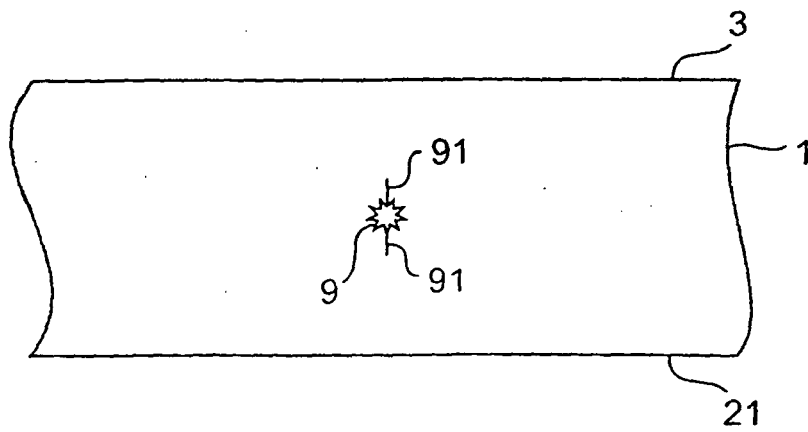
Fig.95



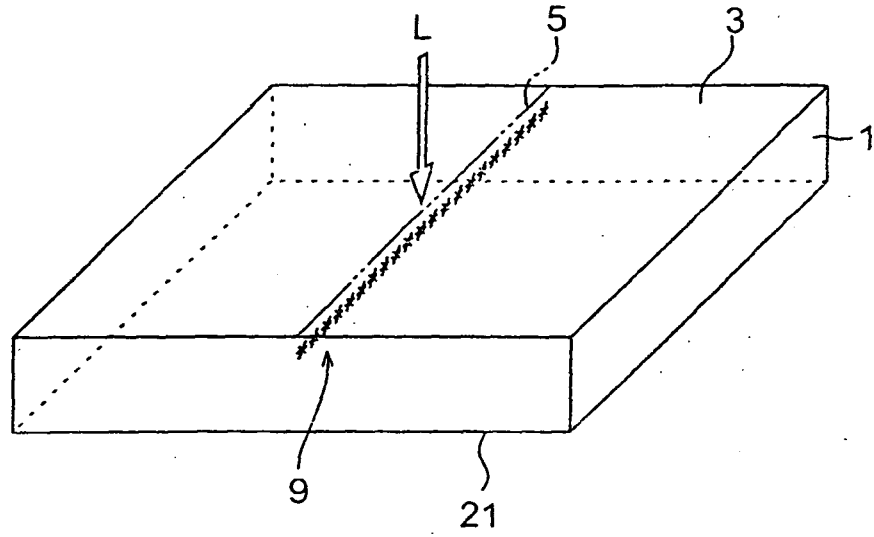
**Fig.96**



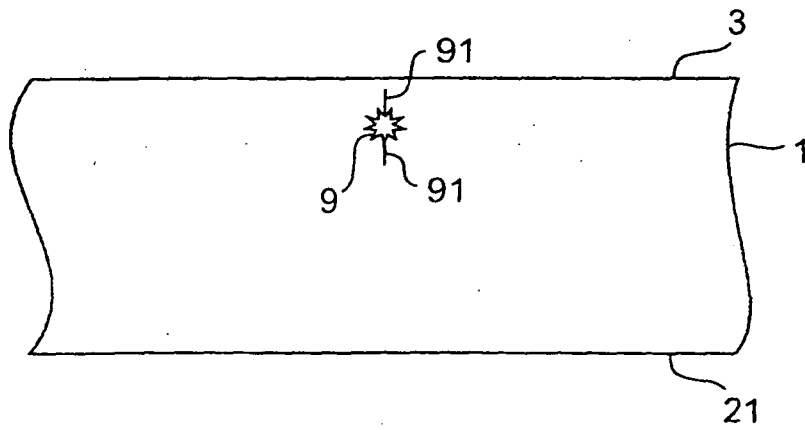
**Fig.97**



**Fig.98**



**Fig.99**



**Fig.100**

