



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 244**

51 Int. Cl.:  
**B23K 26/38** (2006.01)  
**B28D 5/00** (2006.01)  
**H01L 21/301** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03712675 .2**  
96 Fecha de presentación : **12.03.2003**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1498215**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.01.2005**

54 Título: **Método de procesamiento por láser.**

30 Prioridad: **12.03.2002 JP 2002-67372**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**29.08.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**29.08.2011**

73 Titular/es: **HAMAMATSU PHOTONICS K. K.**  
**1126-1, Ichino-cho**  
**Hamamatsu-shi, Shizuoka 435-8558, JP**

72 Inventor/es: **Fukuyo, Fumitsugu y**  
**Fukumitsu, Kenshi**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

**ES 2 364 244 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

Método de procesamiento por láser.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método de procesamiento por láser que se utiliza para el corte de un objeto que tiene que procesarse, que se construye de tal manera que una superficie de un sustrato está provista de una parte laminada.

10

**Antecedentes de la técnica**

Recientemente, se han demandado las técnicas para el corte con gran precisión de objetos que se tienen que procesar con varias estructuras laminadas, tales como aquella en la que se produce una capa activa semiconductor de GaN o similares, como un cristal sobre un sustrato de  $Al_2O_3$  de un dispositivo semiconductor, una en la que se fija un sustrato de vidrio sobre otro sustrato de vidrio para una unidad de visualización de cristal líquido, etc.

15

En general, el corte por cuchilla y trazado de diamante se han empleado convencionalmente para el corte de los objetos que tienen que procesarse con estas estructuras laminadas.

20

El corte por cuchillas es un método en el que un objeto que tiene que procesarse se rasura y corta con una cuchilla de diamante o similar. Por otro lado, el trazado de diamante es un método en el que la parte delantera de un objeto que tiene que procesarse está provista de una línea de trazado por una herramienta de punta de diamante, y un borde afilado se presiona contra la cara trasera del objeto a lo largo del línea de trazado, con el fin de dividir y cortar el objeto.

25

La solicitud PCT número WO 98 55035 describe un método y un aparato para cortar un material utilizando un impulso directo de energía de un láser dirigido hacia el material.

30

La patente de estados Unidos número US5786560 describe un método de micro-maquinado tridimensional que utiliza impulsos de láser de femtosegundo. Los impulsos de láser se dividen en rayos individuales y se dirigen después para superponerse en un solo punto en el que se trata la muestra.

35

La solicitud PCT número WO 020 22301 describe un método de maquinado por rayo láser capaz de cortar una pieza de trabajo a lo largo de una línea. Se enfoca un rayo láser impulsado en un punto de la pieza de trabajo y forma una región modificada a lo largo de cuya línea se tiene por objeto cortar la pieza de trabajo. Se aplica después una leve fuerza para romper la pieza.

40 **Descripción de la invención**

Sin embargo, cuando el objeto que tiene que procesarse es aquél mencionado anteriormente para una unidad de visualización de cristal líquido, por ejemplo, se proporciona un espacio entre los sustratos de vidrio, en los que puede entrar polvo del corte y agua de la lubricación/lavado durante el corte por cuchillas.

45

En el trazado de diamante, no sólo la cara delantera, sino también la cara trasera del objeto que tiene que procesarse debe estar provista de una línea de trazado en los casos en que el objeto tiene un sustrato con un alto grado de dureza, tal como un sustrato de  $Al_2O_3$ , cuando el objeto es aquel en el que sustratos de vidrio están unidos entre sí, etc., por lo que pueden ocurrir fallos de corte debido a las desviaciones de posición entre las líneas de trazado proporcionadas en las caras delantera y trasera.

50

En vista de tales circunstancias, un objeto de la presente invención es proporcionar un método de procesamiento por láser que pueda solucionar los problemas mencionados anteriormente y que corte, con una alta precisión, un objeto que tiene que procesarse con diversas estructuras laminadas.

55

Para alcanzar el objeto mencionado anteriormente, la presente invención proporciona un método de procesamiento por láser como se ha definido en la reivindicación 1.

60

También se describe un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar de un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz de láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz al menos dentro del sustrato, para formar una región modificada debido a la absorción multifotónica al menos dentro del sustrato, y hacer que la región modificada forme una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea, a lo largo de la que se debe cortar el interior del objeto en una distancia predeterminada desde la cara incidente de luz de láser del objeto.

65

En este método de procesamiento por láser, una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea conveniente a lo largo de la que se debe cortar el objeto para cortar el objeto que tiene que procesarse se puede

formar en el sustrato en el objeto por la región modificada formada por un fenómeno de absorción multifotónica. Además, en vista del espesor, el material, etc. de la parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato, la distancia desde la cara delantera del sustrato hasta la región modificada en la región del punto de partida para el corte se puede controlar mediante la regulación de la posición en la que se ubica el punto de convergencia de luz de la luz del láser. Por lo tanto, el objeto que tiene que procesarse construido de tal forma que la parte laminada se dispone en la cara delantera del sustrato se puede romper y cortar con una fuerza relativamente pequeña, por lo que los objetos que tienen que procesarse con diversas estructuras laminadas se pueden cortar con gran precisión.

En este caso, la parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato se refiere a una depositada en la cara delantera del sustrato, que se une a la cara delantera del sustrato, etc., independientemente de que su material sea diferente o idéntico al del sustrato. La parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato incluye una dispuesta en contacto próximo con el sustrato, una dispuesta a una distancia del sustrato, etc. Ejemplos de la parte laminada incluyen capas activas semiconductoras formadas por el crecimiento de cristales en el sustrato, sustratos de vidrio unidos a otros sustratos de vidrio, etc. La parte laminada incluye también una en la que se forman una pluralidad de capas de diferentes materiales entre sí. La expresión "en el sustrato" abarca la cara delantera del sustrato provista de la parte laminada también. El punto de convergencia de luz se refiere a un lugar en el que converge la luz del láser. La región del punto de partida para el corte se refiere a una región que se convierte en un punto de partida para el corte cuando se corta el objeto que tiene que procesarse. Por lo tanto, la región del punto de partida para el corte es una parte para cortar cuando se tiene que realizar el corte en el objeto. La región del punto de partida para el corte se puede producir mediante la formación continua de una región modificada o formación intermitente de una región modificada.

Se describe también un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz del láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz al menos en el sustrato 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 la luz y una anchura de impulso de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de formar una región modificada que incluye una región de ruptura al menos en el sustrato, y hacer que la región modificada forme una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto en el interior del objeto a una distancia predeterminada desde una cara incidente de luz del láser del objeto.

Cuando el sustrato se irradia con luz de láser bajo esta condición, un fenómeno de daño óptico debido a la absorción multifotónica se produce en el sustrato. Este daño óptico induce la distorsión térmica en el sustrato, formando de esta manera una región de ruptura en el sustrato. La región de ruptura es un ejemplo de la región modificada mencionada anteriormente. Un ejemplo del sustrato sometido a este método de procesamiento por láser es un miembro que incluye vidrio.

Se describe también un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz del láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz al menos en el sustrato 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 la luz y una anchura de impulso de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de formar una región modificada que incluye una región procesada fundida al menos en el sustrato, y hacer que la región modificada forme una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto en el interior del objeto a una distancia predeterminada desde una cara incidente de luz del láser del objeto.

Cuando el sustrato se irradia con luz de láser bajo esta condición, el interior del objeto se calienta puntualmente por la absorción de multifotónica. Este calentamiento forma una región procesada fundida dentro del objeto. La región procesada fundida es un ejemplo de la región modificada mencionada anteriormente. Un ejemplo del objeto que tiene que procesarse por este método de procesamiento por láser es un miembro que incluye un material semiconductor.

Se describe también un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz del láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz al menos en el sustrato 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 la luz y una anchura de impulso de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de formar una región modificada que incluye una región cambiante del índice de refracción, que es una región con un índice de refracción cambiado al menos en el sustrato, y hacer que la región modificada forme una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto en el interior del objeto a una distancia predeterminada desde una cara incidente de luz del láser del objeto.

Cuando el sustrato se irradia con luz de láser bajo esta condición, se produce la absorción multifotónica dentro del sustrato. Sin embargo, dado que el anchura de impulso es muy corta, la energía causada por la absorción multifotónica no se transforma en energía térmica, de modo que se induce un cambio estructural permanente, tal como el cambio de valencia iónica, la cristalización o la orientación de la polarización en el sustrato, por lo que se

forma una región cambiante del índice de refracción. La región cambiante del índice de refracción es un ejemplo de la región modificada. Un ejemplo del sustrato sometido a este método de procesamiento por láser es un miembro que incluye vidrio.

5 En el método como se ha definido por la reivindicación 1, la región modificada puede incluir al menos una región de ruptura que es una región en la que se genera la ruptura en el sustrato, una región procesada fundida que es una región sometida a la fundición dentro del sustrato, y una región cambiante del índice de refracción que es una región con índice de refracción cambiado dentro del sustrato.

10 Este método de procesamiento por láser puede cortar con gran precisión objetos que tiene que procesarse con varias estructuras laminadas por razones similares a las de los métodos de procesamiento por láser mencionados anteriormente de acuerdo con la presente invención. La región modificada se puede formar debido a la absorción multifotónica u otras razones.

15 Se describe también un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz del láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz al menos en el sustrato, irradiar el objeto con luz del láser mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz en la parte laminada, para formar respectivas regiones modificadas en el sustrato y en la parte laminada, y hacer que las regiones modificadas formen una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto en el interior del objeto a una distancia predeterminada desde una cara incidente de luz del láser del objeto. La región modificada puede incluir al menos una de una región de ruptura que es una región en la que se genera la ruptura en el sustrato, una región procesada fundida que es una región sometida a la fundición dentro del sustrato, y una región cambiante del índice de refracción que es una región con índice de refracción cambiado dentro del sustrato.

25 Este método de procesamiento por láser para el corte a lo largo de una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto no sólo en el sustrato, sino también en la parte laminada, de modo que el objeto que tiene que procesarse se puede cortar con una fuerza menor, por lo que los objetos que tienen diferentes estructuras laminadas se pueden cortar con gran precisión. La formación de la región modificada en el sustrato y la formación de la región modificada en la parte laminada se pueden efectuar de forma simultánea mientras usa respectivas fuentes de luz de láser diferentes entre sí o por separado (en cualquier orden) mientras utiliza la misma fuente de luz de láser, por ejemplo. La región modificada se puede formar debido a la absorción multifotónica u otras razones.

35 Se describe también un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz del láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz en el sustrato, para formar una región modificada a lo largo de una línea a lo largo de la se debe cortar el objeto al menos en el sustrato, cortando de esta manera el objeto. La región modificada puede incluir al menos una de una región de ruptura que es una región en la que se genera la ruptura en el sustrato, una región procesada fundida que es una región sometida a la fundición dentro del sustrato, y una región cambiante del índice de refracción que es una región con índice de refracción cambiado dentro del sustrato.

45 En este método de procesamiento por láser, una fractura crece naturalmente en el sustrato y en la parte laminada desde la región modificada formada en el sustrato que actúa como un punto de partida a fin de extenderse a lo largo de la línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto, por lo que el objeto se puede cortar. Este método de procesamiento por láser es eficaz cuando la parte laminada es más fina que el sustrato, por ejemplo. La región modificada se puede formar debido a la absorción multifotónica u otras razones.

50 Preferentemente, en los métodos de procesamiento por láser mencionados anteriormente de acuerdo con la presente invención, la luz del láser que irradia el sustrato, mientras que se posiciona el punto de convergencia de luz en el mismo irradia el sustrato desde el lado de la cara trasera del sustrato. En este caso, aun cuando la parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato tiene características de protección o absorción de luz para la luz de láser, la región modificada puede formar una región del punto de partida para el corte en el sustrato del objeto.

55 Para alcanzar el objeto mencionado anteriormente, se describe también un método de procesamiento por láser que comprende la etapa de irradiar un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en una cara delantera del sustrato con luz del láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz en el sustrato, para formar una región modificada debido a la absorción multifotónica en el sustrato, y hacer que la región modificada forme una región del punto de partida para el corte a lo largo de una línea a lo largo de la que se debe cortar el interior del objeto a distancia predeterminada de un cara incidente de luz del láser del sustrato; y proporcionar una cara delantera del sustrato con una parte laminada después de la etapa de formar de la región del punto de partida para el corte.

65 En este método de procesamiento por láser, se forma una región del punto de partida para el corte dentro de un sustrato antes que se disponga una parte laminada en la cara delantera del sustrato. Dado que la región modificada sólo se forma a nivel local por la absorción multifotónica, la luz del láser casi no se absorbe por la cara delantera del

5 sustrato, por lo que la cara delantera del sustrato no se derrite. Por lo tanto, como en el caso en el que no se forma ninguna región modificada en el sustrato, la cara delantera del sustrato se puede proporcionar con la parte laminada, para formar el objeto que tiene que procesarse. Debido a la misma razón que se ha mencionado anteriormente, el objeto que tiene que procesarse formado de esta manera se puede romper y cortar con una fuerza relativamente pequeña desde la región del punto de partida para el corte formada en el sustrato como un punto de partida, por lo que los objetos que tienen que procesarse con diferentes estructuras laminadas se pueden cortar con gran precisión.

### 10 Breve descripción de los dibujos

10 La Figura 1 es una vista en planta de un objeto que tiene que procesarse durante el procesamiento por láser en el método de procesamiento por láser de acuerdo con una realización que no es de la presente invención;  
La Figura 2 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse, tomada a lo largo de la línea II-II de la Figura 1;

15 La Figura 3 es una vista en planta del objeto que tiene que procesarse después del procesamiento por láser por el método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 4 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse, tomada a lo largo de la línea IV-IV de la Figura 3;

20 La Figura 5 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse, tomada a lo largo de la línea V-V de la Figura 3;

La Figura 6 es una vista en planta del objeto que tiene que procesarse cortado por el método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 7 es un gráfico que muestra las relaciones entre la intensidad del campo eléctrico y el tamaño del punto de ruptura en el método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

25 La Figura 8 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse en una primera etapa del método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 9 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse en una segunda etapa del método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

30 La Figura 10 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse en una tercera etapa del método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 11 es una vista en sección del objeto que tiene que procesarse en una cuarta etapa del método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección de corte en una parte de una oblea de silicio cortada por el método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

35 La Figura 13 es un gráfico que muestra las relaciones entre la longitud de onda de luz de láser y la transmitancia interna de un sustrato de silicio en el método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 14 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

40 La Figura 15 es un diagrama de flujo para explicar el método de procesamiento por láser de acuerdo con la realización;

La Figura 16A es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada cerca de la cara trasera del sustrato en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 1;

La Figura 16B es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada cerca de la cara delantera del sustrato en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 1;

45 La Figura 17A es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada cerca de la cara trasera del sustrato en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 2;

La Figura 17B es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada cerca de la cara delantera del sustrato en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 2;

50 La Figura 18A es una vista que muestra un caso en el que las regiones modificadas se forman cerca de la cara delantera del soporte y en la parte laminada en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 3;

La Figura 18B es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada cerca de la cara trasera del sustrato en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 3;

La Figura 18C es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada cerca de la cara delantera del sustrato en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 3;

55 La Figura 19 es una vista que muestra el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 4;

La Figura 20A es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas se forman cerca de la cara delantera del sustrato y cerca de la cara delantera de la pieza laminada en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 5;

60 La Figura 20B es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas se forman cerca de la cara trasera del sustrato y cerca de la cara trasera de la parte laminada en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 5;

La Figura 21A es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas se forman cerca de la cara delantera del sustrato y cerca de la cara trasera de la parte laminada en el objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 5;

65 La Figura 21B es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas se forman cerca de la cara trasera del sustrato y cerca de la cara delantera de la pieza laminada en el objeto que tiene que

procesarse de acuerdo con el Ejemplo 5, y

La Figura 22 es una vista ampliada que muestra una parte principal del objeto que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 6.

## 5 Mejores formas de realizar la invención

A continuación, se explicará en detalle una realización preferida de la presente invención con referencia a los dibujos. En el método de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización, una región modificada debido a la absorción multifotónica se forma dentro de un objeto que tiene que procesarse. Por lo tanto, el método de procesamiento por láser, en particular la absorción multifotónica, se explicará en principio.

Un material se convierte en ópticamente transparente si su ancho de banda de absorción  $E_G$  es mayor que una energía de fotón  $h\nu$ . Por lo tanto, la condición bajo la que se produce la absorción en el material es  $h\nu > E_G$ . Sin embargo, aún cuando es ópticamente transparente, el material alcanza la absorción bajo la condición de  $n h\nu > E_G$  ( $n = 2, 3, 4, \dots$ ) si la intensidad de la luz de láser es muy alta. Este fenómeno se conoce como la absorción multifotónica. En el caso de las ondas de pulso, la intensidad de la luz de láser se determina por la densidad de potencia máxima ( $W/cm^2$ ) de la luz de láser en un punto de convergencia de luz del mismo. La absorción multifotónica ocurre, por ejemplo, a una densidad de potencia máxima ( $W/cm^2$ ) de  $1 \times 10^8$  ( $W/cm^2$ ) o mayor. La densidad de potencia máxima se determina por (energía por pulso de luz de láser en el punto de convergencia de luz)/(área de sección transversal del punto de luz de láser x anchura de pulso). En el caso de una onda continua, la intensidad de la luz del láser se determina por la intensidad de campo eléctrico ( $W/cm^2$ ) de la luz de láser en el punto de convergencia de luz.

El principio de procesamiento por láser de acuerdo con la realización que utiliza tal absorción multifotónica como se explicará a continuación con referencia a las Figuras 1 a 6. La Figura 1 es una vista en planta de un objeto que tiene que procesarse durante el procesamiento por láser, la Figura 2 es una vista en sección transversal del objeto 1 tomada a lo largo de la línea II-II de la Figura 1, la Figura 3 es una vista en planta del objeto 1 después de un procesamiento por láser, la Figura 4 es una vista en sección transversal del objeto 1 tomada a lo largo de la línea IV-IV de la Figura 3, la Figura 5 es una vista en sección transversal del objeto 1 tomada a lo largo de la línea V-V de la Figura 3, y la Figura 6 es una vista en planta del objeto cortado 1.

Como se muestra en las Figuras 1 y 2, la cara delantera 3 del objeto 1 tiene una línea conveniente a lo largo de la que se debe cortar 5 el objeto para cortar el objeto 1. La línea a lo largo de la que se debe cortar 5 el objeto es una línea virtual que se extiende linealmente (el objeto 1 se puede formar también con una línea real que actúa como la línea a lo largo de la que se debe cortar 5 el objeto). En el procesamiento por láser de acuerdo con esta realización, el objeto se irradia con una luz de láser L de tal manera que un punto de convergencia de luz P se posiciona en el objeto 1 en una condición que causa la absorción multifotónica, a fin de formar una región modificada 7. Aquí, el punto de convergencia de luz es un lugar en el que converge la luz del láser L.

La luz del láser L se mueve relativamente a lo largo de la línea por la que se deben cortar 5 los objetos (en el sentido de la flecha A), con el fin de mover el punto de convergencia de luz P a lo largo de la línea por la que se debe cortar 5 el objeto. Esto forma la región modificada 7 a lo largo de la línea por la que se debe cortar 5 el objeto sólo dentro del objeto 1 como se muestra en las Figuras 3 a 5, y la región modificada 7 forma de una región del punto de partida para el corte (parte para el cortar) 8. En el método de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización, no se forma ninguna región modificada 7 tras el calentamiento del objeto 1 haciendo que el objeto 1 absorba la luz de láser L. En cambio, la luz del láser L se transmite a través del objeto 1, con el fin de generar la absorción multifotónica en el objeto 1, formando de esta manera la región modificada 7. Por lo tanto, la luz del láser L casi no se absorbe por la cara delantera 3 del objeto 1, por lo que la cara delantera 3 del objeto 1 no se derrite.

Si existe un punto de partida en un lugar para el corte al cortar el objeto 1, el objeto 1 se fractura desde este punto de partida y por lo tanto se puede cortar con una fuerza relativamente pequeña, como se muestra en la Figura 6. Esto hace posible cortar el objeto 1, sin generar fracturas innecesarias en la cara delantera 3 del objeto 1.

Al parecer, existen las siguientes dos maneras de cortar el objeto desde la región del punto de partida para el corte que actúa como un punto de partida. El primer caso es en el que, después de formar la región del punto de partida para el corte, se aplica una fuerza artificial al objeto, de modo que el objeto se fractura desde la región del punto de partida para el corte que actúa como punto de partida, por lo que se corta el objeto. Este es el caso en que por ejemplo el objeto tenga un gran espesor. La aplicación de una fuerza artificial abarca la aplicación de la tensión de flexión y tensión de cizalladura a lo largo de la región del punto de partida para el corte del objeto, y la provisión de una diferencia de temperatura en el objeto para generar, por ejemplo, tensión térmica. El otro caso es cuando se forma una región del punto de partida para el corte, de modo que el objeto se fractura naturalmente en una dirección transversal (dirección del espesor) del objeto desde la región del punto de partida para el corte que actúa como punto de partida, por lo que se corta el objeto. Esto es posible, por ejemplo, mediante la formación de la región del punto de partida para el corte por una sola fila de regiones modificadas cuando el objeto tiene un grosor pequeño, y por una pluralidad de filas de regiones modificadas alineadas en la dirección del grosor si el objeto tiene una gran espesor. Incluso en el caso de las fracturas naturales, las fracturas no se extienden hasta la cara delantera

en un lugar que no se ha formado con la región del punto de partida para el corte en la parte a cortar, por lo que sólo se puede fracturar la parte correspondiente a la ubicación formada con la región del punto de partida para el corte. Por lo tanto, la fractura se puede regular también. Un método de fractura de este tipo con capacidad de control favorable es muy eficaz, ya que los objetos que tienen que procesarse, tales como obleas de silicio se han adaptado recientemente para ser más finas.

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

Caso (1) cuando la región modificada es una región de ruptura que incluye una o una pluralidad de grietas

Un objeto que tiene que procesarse (por ejemplo, vidrio o un material piezoeléctrico fabricado de  $\text{LiTaO}_3$ ) se irradia con luz de láser, mientras que un punto de convergencia de luz se posiciona sobre el mismo bajo una condición con una intensidad de campo eléctrico de al menos  $1 \times 10^8 \text{ (W/cm}^2\text{)}$  en el punto de convergencia de la luz y una anchura de impulso de  $1 \mu\text{s}$  o menos. Esta anchura de impulso es una condición bajo la que se puede formar una región de ruptura sólo dentro del objeto, mientras se genera la absorción multifotónica sin causar daños innecesarios en el objeto. Esto genera un fenómeno de daño óptico debido a la absorción multifotónica dentro del objeto. Este daño óptico induce la distorsión térmica dentro del objeto, formando de esta manera una región de ruptura en el mismo. El límite superior de la intensidad del campo eléctrico es, por ejemplo, de  $1 \times 10^{12} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ . La anchura de impulso es preferiblemente, por ejemplo, de  $1 \text{ ns}$  a  $200 \text{ ns}$ . La formación de una región de ruptura debido a la absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en "Internal Marking of Glass Substrate by Solid-state Laser Harmonics" Actas de la Cuadragésima Quinta Conferencia de Procesamiento de Materiales por Láser (diciembre de 1998), pp 23-28.

Los inventores han determinado las relaciones entre la intensidad del campo eléctrico y la magnitud de la grieta mediante un experimento. Las condiciones del experimento son las siguientes:

(A) Objeto a procesarse: vidrio Pyrex (marca registrada) (con un espesor de  $700$  cuadragésima  $\mu\text{m}$ )

(B) Laser

Fuente de luz: láser semiconductor que bombea láser Nd:YAG

Longitud de onda:  $1064 \text{ nm}$

Área de sección transversal de ubicación de luz de láser:  $3,14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$

Modo de oscilación: impulso por conmutación Q

Frecuencia de repetición:  $100 \text{ kHz}$

Anchura de impulso:  $30 \text{ ns}$

Salida: salida  $<1 \text{ mJ/impulso}$

Calidad de luz de láser:  $\text{TEM}_{00}$

Polarización característica: polarización lineal

(C) Lente de convergencia de luz

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

(D) Velocidad de movimiento de una mesa de montaje que monta al objeto:  $100 \text{ mm/seg}$

En este caso, la calidad de la luz de láser que es  $\text{TEM}_{00}$  indica que la convergencia de la luz es tan alta que la luz puede ser convergente hasta aproximadamente la longitud de onda de la luz de láser.

La Figura 7 es un gráfico que muestra los resultados del experimento mencionado anteriormente. La abscisa indica la densidad de potencia máxima. Dado que la luz de láser es luz de láser de impulso, su intensidad del campo eléctrico está representada por la densidad de potencia máxima. La ordenada indica el tamaño de una parte de ruptura (punto de ruptura) formada en el objeto procesado por un impulso de luz de láser. Los puntos de ruptura de ruptura se reúnen, a fin de formar una región de ruptura. El tamaño de un punto de ruptura se refiere a la de la parte de las dimensiones del punto de ruptura alcanzando la longitud máxima. Los datos indicados mediante círculos negros en el gráfico se refieren a un caso en que la lente de convergencia de luz (C) tiene un aumento de  $\times 100$  y una apertura numérica (NA) de  $0,80$ . Por otro lado, los datos indicados por círculos blancos en el gráfico se refieren a un caso en que la lente de convergencia de luz (C) tiene una ampliación de  $\times 50$  y una apertura numérica (NA) de  $0,55$ . Se ve que los puntos de ruptura comienzan a ocurrir en el objeto cuando la densidad de potencia máxima alcanza aproximadamente  $10^{11} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ , y se hace mayor a medida que aumenta la densidad de potencia máxima.

Un mecanismo mediante el que se corta el objeto que tiene que procesarse tras la formación de una región de ruptura en el procesamiento por láser de acuerdo con esta realización se explicará ahora con referencia a las Figuras 8 a 11. Como se muestra en la Figura 8, el objeto se irradia con una luz de láser L, mientras que se posiciona el punto de convergencia de luz P en el objeto 1, en una condición en la que ocurre la absorción multifotónica, a fin de formar una región de ruptura 9 en el mismo a lo largo de una línea por la que se debe cortar el objeto. La región de ruptura 9 es una región que incluye uno o una pluralidad de puntos de ruptura. La región de ruptura 9 forma una región del punto de partida para el corte. Como se muestra en la Figura 9, la grieta crece aún más durante el uso de la región de ruptura 9 como punto de partida (es decir, cuando se usa la región del punto de partida para el corte como un punto de partida). Como se muestra en la Figura 10, la grieta alcanza la cara delantera 3 y trasera 21 del objeto 1. Como se muestra en la Figura 11, el objeto 1 se rompe con el fin de cortarse. La grieta que alcanza la cara delantera y trasera del objeto puede crecer de forma natural o crecer a medida que se aplica

una fuerza en el objeto.

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

5 Un objeto que tiene que procesarse (por ejemplo, un material semiconductor como el silicio) se irradia con luz de láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz en el mismo bajo una condición con una intensidad de campo eléctrico de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) en el punto de convergencia de luz y a una anchura de impulso de 1  $\mu$ s o menos. Como consecuencia, el interior del objeto se calienta por la absorción multifotónica a nivel local. Este calentamiento forma una región procesada fundida dentro del objeto. La región procesada fundida se refiere a una región que se ha derretido y luego se ha solidificado nuevamente, una región justo en un estado fundido, o de una región en el proceso de re-solidificación de su estado fundido, y también se puede definir como una región con cambio de fase o una región que ha cambiado su estructura cristalina. La región procesada fundida se puede considerar también como una región en la que una determinada estructura ha cambiado a otra estructura en estructuras monocristalinas, amorfas, y estructuras policristalinas. Es decir, se refiere 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 de monocristal se ha transformado en una estructura que incluye una estructura amorfa y una estructura policristalina, por ejemplo. Cuando el objeto es una estructura monocristalina de silicio, la región procesada fundida es una estructura de silicio amorfo, por ejemplo. El límite superior de la intensidad del campo eléctrico es de  $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>), por ejemplo. La anchura de impulso es preferiblemente de 1 ns a 200 ns, por ejemplo.

En un experimento, los inventores han comprobado que una región procesada fundida se forma dentro de una oblea de silicio. Las condiciones del experimento son las siguientes:

25 (A) Objeto a procesarse: oblea de silicio (con un espesor de 350  $\mu$ m y un diámetro exterior de 4 pulgadas)  
 (B) Laser  
 Fuente de luz: láser semiconductor que bombea láser Nd:YAG  
 Longitud de onda: 1064 nm  
 Área de sección transversal de ubicación de luz de láser:  $3,14 \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>  
 30 Modo de oscilación: impulso por conmutación Q  
 Frecuencia de repetición: 100 kHz  
 Anchura de impulso: 30 ns  
 Salida: 20  $\mu$ J/impulso  
 Calidad de luz de láser: TEM<sub>00</sub>  
 35 Polarización característica: polarización lineal  
 (C) Lente de convergencia de luz  
 Aumento : x50  
 N.A.: 0,55  
 Transmitancia con respecto a la longitud de onda de luz de láser: 60%  
 40 (D) Velocidad de movimiento de una mesa de montaje que monta al objeto: 100 mm/seg

La Figura 12 es una vista que muestra una fotografía de una sección de corte en una parte de una oblea de silicio cortada mediante el procesamiento por láser en las condiciones mencionadas anteriormente. Una región procesada fundida 13 se forma dentro de una oblea de silicio 11. El tamaño de la región procesada fundida 13 formada en las condiciones mencionadas anteriormente es de unos 100  $\mu$ m en la dirección del espesor.

El hecho de que la región procesada fundida 13 esté formada por la absorción multifotónica se explicará a continuación. La Figura 13 es un gráfico que muestra las relaciones entre la longitud de onda de la luz de láser y la transmitancia en el sustrato de silicio. En este caso, se eliminan los componentes reflectantes respectivos en el lado de cara delantera y en el lado de cara trasera del sustrato de silicio, por lo que sólo se representa la transmitancia en el mismo. Las relaciones mencionadas anteriormente se muestran en los casos en los que el espesor t del sustrato de silicio es de 50  $\mu$ m, 100  $\mu$ m, 200  $\mu$ m, 500  $\mu$ m, y 1000  $\mu$ m, respectivamente.

Por ejemplo, se ve que la luz de láser se transmite a través del sustrato de silicio en lo menos el 80% a 1064 nm, donde se encuentra la longitud de onda del láser Nd: YAG, cuando el sustrato de silicio tiene un espesor de 500  $\mu$ m o menos. Puesto que la oblea de silicio 11 mostrada en la Figura 12 tiene un espesor de 350  $\mu$ m, se forma la región procesada fundida 13 debido a la absorción multifotónica cerca del centro de la oblea de silicio, es decir, en una parte separada de la cara delantera de 175  $\mu$ m. La transmitancia en este caso es del 90% o más con referencia a una oblea de silicio que tiene un espesor de 200  $\mu$ m, por lo que sólo se absorbe ligeramente la luz del láser dentro de la oblea de silicio 11 y se transmite sustancialmente a través de la misma. Esto significa que la región procesada fundida 13 no se forma por absorción de la luz de láser dentro de la oblea de silicio 11 (es decir, no se forma por el calentamiento habitual con luz de láser), sino por la 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", Pre-impresiones de la Reunión Nacional de la Sociedad de Soldadura de Japón, No. 66 (abril 2000), pp 72 -73.



En este caso, una fractura se genera en la dirección transversal, mientras que se utiliza una región procesada fundida como punto de partida, por lo que se corta la oblea de silicio cuando la fractura alcanza la cara delantera y la cara trasera de la oblea de silicio. La fractura que alcanza la cara delantera y la cara trasera de la oblea de silicio puede crecer de forma natural o crecer a medida que se aplica una fuerza en la oblea de silicio. La fractura crece de forma natural desde la región del punto de partida para el corte hasta la cara delantera y la cara trasera de la oblea de silicio en cualquiera de los casos en los que la fractura crece desde la región procesada fundida en un estado fundido y en los que la fractura crece desde la región procesada fundida en el proceso de re-solidificación del estado fundido. En cualquiera de estos casos, la región procesada fundida sólo se forma dentro de la oblea de silicio. En la sección de corte después del corte, la región procesada fundida sólo se forma en la misma como se muestra en la Figura 12. Cuando una región procesada fundida se forma dentro del objeto, es difícil que ocurran fracturas innecesarias que se desvían de una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto cortado al momento de la fractura, lo que facilita el control de la fractura.

(3) Caso en que la región modificada es una región cambiante del índice de refracción

Un objeto que tiene que procesarse (por ejemplo, vidrio) se irradia con luz de láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz en el mismo bajo una condición con una intensidad de campo eléctrico de al menos  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) en el punto de convergencia de luz y a una anchura de impulso de 1  $\mu$ s o menos. Cuando la absorción multifotónica se genera dentro del objeto con una anchura de impulso muy pequeña, la energía causada por la absorción multifotónica no se transforma en energía térmica, de modo que un cambio estructural permanente, tales como el cambio de valencia iónica, la cristalización o la orientación de polarización se induce dentro del objeto, por lo que se forma una región cambiante del índice de refracción. El límite superior de la intensidad del campo eléctrico es de  $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>), por ejemplo. La anchura de impulso es preferiblemente de 1 ps o menos, más preferiblemente de 1 ps o menos, por ejemplo. La formación de una región cambiante del índice de refracción por absorción multifotónica se describe, por ejemplo, en la "Formation of Photoinduced Structure within Glass by Femtosecond Laser Irradiation", Actas de la Cuadragésima Segunda Conferencia del Procesamiento de Materiales por Láser (Noviembre de 1997), pp 105-111.

Los casos (1) a (3) se explican como modificando las regiones modificadas formadas por la absorción multifotónica en las secciones anteriores. Cuando una región punto de partida para el corte se forma de la siguiente manera, en vista de la estructura cristalina de un objeto similar a una oblea que tiene que procesarse, la propiedad de fractura del mismo, y similares, el sustrato se puede cortar con una fuerza menor y una mayor precisión, mientras que se utiliza la región del punto de partida para el corte como un punto de partida.

Es decir, en el caso de un sustrato fabricado de un semiconductor monocristalino que tiene una estructura de diamante, como el silicio, la región del punto de partida para el corte se forma preferentemente en una dirección a lo largo del plano (111) (primer plano de fractura) o el plano (110) (segundo plano de fractura). En el caso de un sustrato fabricado de un semiconductor de la familia III-V compuesto que tiene una estructura de tipo de mineral de zinc, tal como GaAs, la región del punto de partida para el corte se forma preferentemente en una dirección a lo largo del plano (110). En el caso de un sustrato que tiene una estructura cristalina hexagonal como el zafiro (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), una región del punto de partida para el corte se forma preferentemente en una dirección en el plano (1120) (plano A) o en el plano (1100) (plano M), en tanto utiliza el plano (0001) (plano C) como un plano principal.

Cuando el sustrato se forma con una orientación plana a lo largo de una dirección que se tiene que formar con la región del punto de partida para el corte (por ejemplo, en una dirección a lo largo del plano (111) en el sustrato de silicio monocristalino) o en una dirección ortogonal a la dirección que se tiene que formar con la región del punto de partida para el corte, la región del punto de partida para el corte se extiende a lo largo de la dirección que se tiene que formar con la región del punto de partida para el corte se puede formar en el sustrato de una manera fácil y precisa con referencia a la orientación plana.

Un aparato de procesamiento por láser que se utiliza en el método de procesamiento por láser mencionado anteriormente se explicará a continuación con referencia a la Figura 14. La Figura 14 es un diagrama esquemático del aparato de procesamiento por láser 100.

El aparato para el procesamiento por láser 100 comprende una fuente de luz de láser 101 para la generación de luz de láser L, un controlador de la fuente de luz de láser 102 para el control de la fuente de luz de láser 101 con el fin de regular la salida, la anchura de impulso, etc. de la luz de láser L y similares; un espejo dicróico 103, dispuesto con el fin de cambiar la orientación del eje óptico de la luz de láser L por 90°, que tiene una función de reflejar la luz de láser L, una lente de convergencia de luz 105 para la convergencia de la luz de láser L reflectada en el espejo dicróico 103, una mesa de montaje 107 para el montaje de un objeto que tiene que procesarse irradiado con la luz de láser L que converge por la lente de convergencia de luz 105; una fase en el eje X 109 para mover la mesa de montaje 107 en la dirección del eje X, una fase en el 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 en el eje Z 113 para mover la mesa de montaje 107 en la dirección del eje Z ortogonal a las direcciones de los ejes X e Y, y un controlador de fase 115 para controlar el movimiento de estas tres fases 109, 111, 113.

- Este movimiento del punto de convergencia de luz P en la dirección del eje X - (Y) se consigue mediante el movimiento del objeto 1 en la dirección del eje X - (Y) en la fase del eje X (Y) 109 (111). La dirección del eje Z es una dirección ortogonal a la cara delantera 3 del objeto 1, y se convierte así en la dirección de la profundidad focal de la luz de láser L que incide en el objeto 1. Por lo tanto, al mover la fase del eje Z 113 en la dirección del eje Z se puede posicionar el punto de convergencia de luz P de la luz de láser L en el objeto 1. Esto puede posicionar el punto de convergencia de luz P en una posición deseable tal como en el sustrato, en la parte laminada sobre el sustrato, o similares en el objeto 1, cuando el objeto 1 tiene, por ejemplo, una estructura de múltiples capas.
- La fuente de luz de láser 101 es un láser Nd: YAG de generación de luz de láser de impulso. Otros tipos de láser conocidos que se pueden utilizar como la fuente de luz de láser 101 incluyen el láser Nd: YVO<sub>4</sub>, el láser Nd: YLF, el láser de zafiro y titanio. Aunque se utiliza luz de láser de impulso para el procesamiento de un objeto 1 en esta realización, la luz de láser de onda continua se puede utilizar siempre que pueda provocar la absorción multifotónica.
- El aparato de procesamiento por láser 100 comprende además una fuente de luz de observación 117 para generar un haz de luz visible para la irradiación del objeto 1 montado en la meda de montaje 107, y un divisor del haz de luz visible 119 dispuesto en el mismo eje óptico que aquél del espejo dicroico 103 y la lente de convergencia de luz 105. El espejo dicroico 103 se dispone entre el divisor del haz 119 y la lente de convergencia de luz 105. El divisor del haz 119 tiene la función reflejar aproximadamente la mitad de un haz de luz visible y la transmisión de la otra mitad a través del mismo, y se dispone con el fin de cambiar la orientación del eje óptico del haz de luz visible en 90°. Aproximadamente una mitad del haz de luz visible generada a partir de la fuente de luz de observación 117 se refleja por el divisor del haz 119, y por tanto el haz de luz visible reflejado se transmite a través del espejo dicroico 103 y de la lente de convergencia de luz 105, con el fin de iluminar la cara delantera 3 del objeto 1, incluida la línea por la que se debe cortar 5 el objeto y similares. Cuando el objeto 1 está montado sobre la mesa de montaje 107 de tal manera que la cara trasera del objeto 1 está orientada hacia la lente de convergencia luz 105, la "cara delantera" mencionada anteriormente se convierte en la "cara trasera", como una cosa natural.
- El aparato de procesamiento por láser 100 comprende además un dispositivo de captación de imágenes 121 y una lente de representación de imágenes 123 que se disponen en el mismo eje óptico que el divisor del haz 119, el espejo dicroico 103, y la lente de convergencia de luz 105. Un ejemplo del dispositivo de captación de imágenes 121 es una cámara CCD. La luz reflejada del haz de luz visible que ha iluminado la cara delantera 3 incluyendo la línea a lo largo de la que se debe cortar 5 el objeto y similares se transmite a través de la lente de convergencia de luz 105, el espejo dicroico 103, y el divisor del haz 119 y forma una imagen a través de la lente de representación de imágenes 123, mientras que la imagen así formada se captura por el dispositivo de captación de imágenes 121, con el fin de obtener datos de imagen.
- El aparato de procesamiento por láser 100 incluye además un procesador de datos de imágenes 125 para ingresar los datos de imágenes generados por el dispositivo de captación de imágenes 121, un controlador global 127 para el control del aparato de procesamiento por láser 100 a modo de conjunto, y un monitor 129. De acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imágenes 125 calcula los datos del punto focal para el posicionamiento del punto focal de la luz visible generada a partir de fuente de luz de observación 117 en la cara delantera 3 del objeto 1. De acuerdo con los datos del punto focal, el controlador de fase 115 controla el movimiento de la fase en el eje Z 113, por lo que el punto focal de la luz visible se coloca en la cara delantera 3 del objeto. Por lo tanto, el procesador de datos de imágenes 125 funciona como una unidad de enfoque automático. También, de acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imágenes 125 calcula los datos de la imagen como una imagen ampliada de la cara delantera 3. Los datos de imagen se envían al controlador global 127, se someten a diversos tipos de procesamiento en el mismo, y luego se envían al monitor 129. Como consecuencia de ello, se visualiza una imagen ampliada o similar en el monitor 129.
- Los datos del controlador de fase 115, los datos de imagen del procesador de datos de imágenes 125, y similares se introducen en el controlador global 127. De acuerdo con estos datos, por tanto, el controlador global 127 regula el controlador de la fuente de luz de láser 102, la fuente de luz de observación 117, y el controlador de fase 115, con lo que se controla el aparato de procesamiento por láser 100 en su conjunto. Por lo tanto, el controlador global 127 funciona como una unidad de ordenador.
- El método de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización se explicará ahora con referencia a las Figuras 14 y 15. La Figura 15 es un diagrama de flujo para explicar la etapa de formación de una región del punto de partida para el corte. En esta realización, el objeto 1 que tiene que procesarse comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato. El objeto 1 se monta en la mesa de montaje 107 del aparato de procesamiento por láser 100 que se muestra en la Figura 14 de tal manera que la cara trasera del sustrato está orientada hacia la lente de convergencia de luz 105. Es decir, la luz del láser L irradia el objeto 1 desde el lado de la cara trasera del sustrato en el mismo.
- En primer lugar las características de absorción de luz del sustrato del objeto 1 se determinan por un espectrofotómetro o similares, que no se representa. De acuerdo con los resultados de la medición, se elige una fuente de luz de láser 101 que genera la luz de láser L con una longitud de onda a la que el sustrato del objeto 1 es

transparente o presenta una baja absorción (S101). Dado que la luz de láser L irradia el sustrato desde el lado de la cara trasera del mismo, el procesamiento por láser no se obstruye, incluso cuando la parte laminada dispuesta sobre el sustrato tiene una característica protección a o absorción de luz para la luz de láser.

5 A continuación, teniendo en cuenta el espesor y el índice de refracción del objeto 1, se determina la cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del eje Z en el aparato de procesamiento por láser 100 (S103). Se trata de una cantidad de movimiento del objeto 1 en la dirección del eje Z en relación con el punto de convergencia de luz P de luz del láser L posicionado en la cara trasera del objeto 1 para que el punto de convergencia de luz P de la luz de láser L se coloque en una posición conveniente en el sustrato en el objeto 1. Esta cantidad de movimiento se introduce en el controlador global 127.

10 El objeto 1 se monta en la mesa de montaje 107 del aparato de procesamiento por láser 100 de tal manera que la cara trasera del sustrato se orienta hacia la lente de convergencia de luz 105. Posteriormente, la luz visible se genera a partir de fuente de luz de observación 117, para iluminar la cara trasera del sustrato del objeto 1 (S105). La cara trasera iluminada, incluida la línea a lo largo de la que se debe cortar 5 el objeto se captura por el dispositivo de captación de imágenes 121. La línea por la que se debe cortar 5 el objeto es deseablemente una línea virtual para el corte del objeto 1. Los datos de imágenes capturados por el dispositivo de imagen 121 se envían al procesador de datos de imágenes 125. De acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imágenes 125 calcula los datos del punto focal de tal manera que el punto focal de la fuente de luz de observación 117 se posiciona en la cara trasera del sustrato del objeto 1 (S107).

15 Los datos del punto focal se envían al controlador de fase 115. De acuerdo con los datos del punto focal, el controlador de fase 115 se mueve en la fase en el 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 coloca en la cara trasera del sustrato del objeto 1. De acuerdo con los datos de imagen, el procesador de datos de imágenes 125 calcula los datos de imágenes ampliadas de la cara trasera del sustrato del objeto 1, incluida la línea por la que se debe cortar 5 el objeto. Los datos de imágenes ampliadas se envían al monitor 129 a través del controlador global 127, por lo que se visualiza una imagen ampliada de la línea a lo largo de la que se debe cortar 5 el objeto y sus alrededores en el monitor 129.

20 Los datos sobre la cantidad de movimiento determinado en la etapa S103 se han introducido en el controlador global 127 con anterioridad, y se envían al controlador de la etapa 115. De acuerdo los datos de la cantidad de movimiento, el controlador de fase 115 hace que la etapa del eje Z 113 mueva el objeto 1 en la dirección del eje Z hasta una posición en la que se posiciona el punto de convergencia de luz P de la luz de láser L en el sustrato del objeto 1 (S111).

25 Posteriormente, la luz de láser L se genera a partir de la fuente de luz de láser 101, con el fin de irradiar la línea por la que se debe cortar 5 el objeto en la cara trasera del sustrato del objeto 1. Puesto que el punto de convergencia de luz P de la luz de láser L se posiciona en el sustrato del objeto 1, sólo se forma una región modificada en el sustrato del objeto 1. Después, la fase en el eje X 109 y la fase en el eje Y 111 se mueven a lo largo de la línea por la que se debe cortar 5 el objeto, de tal manera que la región modificada formada a lo largo de la línea por la que se debe cortar 5 el objeto forma una región del punto de partida para el corte en el objeto 1 de un largo de la línea por la que se debe cortar 5 el objeto (S113).

30 Como se explica en lo anterior, el método de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización irradia el objeto 1 con la luz de láser L desde el lado de la cara trasera del sustrato en el mismo, por lo que la región modificada formada por absorción multifotónica en el sustrato puede formar una región del punto de partida para el corte a lo largo de cuya línea se debe cortar 5 el objeto para el cortar del objeto 1. En vista del espesor, material, etc. de la parte laminada dispuesta sobre el sustrato, la posición de la región modificada formada dentro del sustrato se controla mediante la regulación de la posición en la que se encuentra el punto de convergencia de luz P de la luz de láser L. Por lo tanto, el objeto 1 construido de tal manera que la parte laminada se dispone en la cara delantera del sustrato se puede romper y cortar con una fuerza relativamente pequeña desde la región del punto de partida para el corte formada en el sustrato como un punto de partida.

35 La parte laminada del objeto 1 se puede irradiar con luz de láser L que tenga una longitud de onda a la que la parte laminada es transparente o presenta una baja absorción, mientras que el punto de convergencia de luz P se coloca en la parte laminada, de tal manera que se forma también una región del punto de partida para el corte a lo largo de la línea por la que se debe cortar 5 el objeto en la parte laminada. En este caso, el objeto 1 se puede romper y cortar con una fuerza menor.

40 Ejemplos del método de procesamiento por láser de acuerdo con esta realización se explicarán ahora con referencia a las Figuras 16 a 21.

#### 65 Ejemplo 1

La Figura 16A es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada 7, cerca de la cara

5 trasera de un sustrato 15 en el objeto que se tiene que procesar de acuerdo con el Ejemplo 1, mientras que la Figura 16B es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada 7, cerca de la cara delantera del sustrato 15 en el objeto de acuerdo con el Ejemplo 1. Ejemplos del objeto mostrado en las Figuras 16A y 16B incluyen uno utilizado para dispositivos de bajo consumo de energía/alta velocidad de próxima generación y uno para dispositivos de próxima generación.

10 El sustrato 15, la primera parte laminada 17a, y la segunda parte laminada 17b de un dispositivo de bajo consumo de energía/alta velocidad de próxima generación son Si (500  $\mu\text{m}$ ), SiO<sub>2</sub> (1  $\mu\text{m}$ ) y Si (3  $\mu\text{m}$ ), respectivamente. Por otro lado, el sustrato 15, la primera parte laminada 17a, y la segunda parte laminada 17b para un dispositivo de próxima generación son Si (500  $\mu\text{m}$ ), SrTiO<sub>3</sub> (varios cientos de  $\mu\text{m}$ ), y GaAs (varios cientos de  $\mu\text{m}$ ), respectivamente (en los que los valores entre paréntesis indican el espesor).

15 Cuando la región modificada 7 se coloca cerca de la cara trasera 21 del objeto 1, un borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 del objeto 1 a lo largo de una región del punto de partida para el corte formada por la región modificada 7, como se muestra en la Figura 16A, con el fin de romper y cortar el objeto 1. Esto se debe a un gran esfuerzo de tensión entre los esfuerzos de flexión generados por la presión del borde afilado 23 que actúa en la región modificada 7, por lo que se puede cortar el objeto con una fuerza relativamente pequeña. Cuando la región modificada 7 se coloca cerca de la cara delantera 3 del objeto 1, por otro lado, el borde afilado 23 se presiona contra la cara trasera 21 al objeto 1 como se muestra en la Figura 16B por la misma razón, a fin de romper y cortar el objeto 1.

20 En este caso, "la región modificada 7 se coloca cerca de la cara trasera 21 del objeto 1" significa que la región modificada 7 que constituye la región del punto de partida para el corte se forma con el fin de pasar de la posición central del objeto 1 en la dirección del espesor (posición media de espesor) hacia la cara trasera 21. Es decir, se refiere a un caso en el que la posición central de la anchura de la región modificada 7 en la dirección del espesor del objeto 1 se desplaza desde la posición central del objeto 1 en la dirección del espesor hacia la cara trasera 21, y no se limita a un caso en el que se coloca toda la región modificada 7 en el lado de la cara trasera 21 de la posición central del objeto 1 en la dirección del espesor. Del mismo modo, "la región modificada 7 se coloca cerca de la cara delantera 3 del objeto 1" significa que la región modificada 7 que constituye la región del punto de partida para el corte se forma con el fin de pasar de la posición central del objeto 1 en la dirección del espesor (posición media de espesor) hacia la cara delantera 3. Lo anterior también es válido para la posición en la que se forma la región modificada 7 con respecto al sustrato 15.

### 35 Ejemplo 2

40 La Figura 17A es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada 7, cerca de la cara trasera de un sustrato 15 en el objeto que se tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 2, mientras que la Figura 17B es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada 7, cerca de la cara delantera del sustrato 15 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 2. El objeto 1 mostrado en las Figuras 17A y 17B es uno para un LD/LED de color azul, ejemplos de su sustrato 15/parte laminada 17 incluyen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (500  $\mu\text{m}$ )/una película laminada funcional (de varios cientos de  $\mu\text{m}$ ) en la que se forma una pluralidad de capas de cristales semiconductores como GaN, y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (500  $\mu\text{m}$ )/una película laminada funcional (de varios cientos de  $\mu\text{m}$ ) en la que se forma una pluralidad de capas, tal como una capa de ZnO (en los que los valores entre paréntesis indican el espesor).

45 Cuando la región modificada 7 se coloca cerca de la cara trasera 21 del objeto 1, un borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 del objeto 1 como se muestra en la Figura 17A, con el fin de romper y cortar el objeto 1, debido a la misma razón que en el caso del objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 1. Cuando la región modificada 7 se coloca cerca de la cara delantera 3 del objeto 1, por otro lado, el borde afilado 23 se presiona contra la cara trasera 21 del objeto 1 como se muestra en la Figura 17B, con el fin de romper y cortar el objeto 1.

### 50 Ejemplo 3

55 La Figura 18A es una vista que muestra un caso en el que respectivas regiones modificadas 7 se forman cerca de la cara delantera de un sustrato 15 y en una parte laminada 17 en el objeto 1 que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 3; la Figura 18B es un caso en el que se forma una región modificada 7, cerca de la cara trasera del sustrato 15 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 3, y la Figura 18C es una vista que muestra un caso en el que se forma una región modificada 7, cerca de la cara delantera del sustrato 15 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 3. El objeto 1 mostrado en las Figuras 18A a 18C es uno de un dispositivo de detección de luz infrarroja, ejemplos de su sustrato 15/parte laminada 17 incluyen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (500  $\mu\text{m}$ )/PbSe (10  $\mu\text{m}$ ), y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (500  $\mu\text{m}$ )/HgCdTe (10  $\mu\text{m}$ ) (en los que los valores entre paréntesis indican el espesor).

60 Cuando la región modificada 7 se coloca cerca de la cara delantera 3 del objeto 1 como se muestra en las Figuras 18A y 18C, el borde afilado 23 se presiona contra la cara trasera 21 del objeto 1, con el fin de romper y cortar el objeto 1, por misma razón que en el caso del objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 1. Cuando la región modificada 7

se coloca cerca de la cara trasera 21 del objeto 1, por otro lado, el borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 del objeto 1 como se muestra en la Figura 18B, con el fin de romper y cortar el objeto 1.

#### Ejemplo 4

La Figura 19 es una vista que muestra el objeto 1 que se tiene que procesar de acuerdo con el Ejemplo 4. El objeto 1 mostrado en la Figura 19 es vidrio de múltiples capas, en el que dos sustratos de vidrio como una primera parte laminada 17a, y una segunda parte laminada 17b están unidas entre sí y laminadas sobre un sustrato de vidrio como un sustrato 15. La región modificada 7 de cada sustrato de vidrio se forma en el lado de la cara trasera 21 del objeto 1. El borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 de objeto 1 en este caso también, para romper y cortar el objeto 1, por la misma razón que en el caso del objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 1. En el caso en que la parte laminada tiene un espesor de gran tamaño o alto grado de dureza, como tal, el objeto 1 se puede romper y cortar con una fuerza más pequeña, si una región del punto de partida para el corte se forma también dentro de la parte.

#### Ejemplo 5

Las Figuras 20A a 21B son vistas que muestran el objeto que se tiene que procesar de acuerdo con el Ejemplo 5. La Figura 20A es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas 7 se forman cerca de la cara delantera de un sustrato 15 y cerca de la cara delantera de una parte laminada 17 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 5, mientras que la Figura 20B es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas 7 se forman cerca de la cara trasera del sustrato 15 y cerca de la cara trasera de la parte laminada 17 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 5. La Figura 21A es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones modificadas 7 se forman cerca de la cara delantera del sustrato 15 y cerca de la cara trasera de la parte laminada 17 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 5, mientras que la Figura 21B es una vista que muestra un caso en el que las respectivas regiones 7 se forman cerca de la cara trasera del sustrato 15 y cerca de la cara delantera de la parte laminada 17 en el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 5.

El objeto 1 mostrado en las Figuras 20A a 21B es una para una unidad de visualización de cristal líquido del tipo reflexión. El sustrato 15 es un sustrato de vidrio (que tiene un espesor de 1,8 mm y un diámetro externo de 8 pulgadas) formado con un electrodo común, mientras que la parte laminada 17 es un sustrato de Si (con un espesor de 500  $\mu\text{m}$  y un diámetro exterior de 8 pulgadas) formado con TFT. El sustrato 15 y la parte laminada 17 se entre sí con un adhesivo 25, formando entre tanto una brecha entre los mismos para la recepción de un cristal líquido.

En el caso de las Figuras 20A y 20B, el objeto 1 se irradia con luz de láser desde el lado de la cara trasera 21, así para formar una región modificada 7 en la parte laminada 17, y después el objeto 1 se irradia con la luz de láser desde el lado de la cara trasera 21, a fin de formar una región modificada 7 en el sustrato 15. Esto se debe a que la luz del láser tiene una longitud de onda a la que tanto el sustrato 15 como la parte laminada 17 son transparentes o presentan una baja absorción. Debido a la misma razón que en el caso del objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 1, el borde afilado 23 se presiona contra la cara trasera 21 del objeto 1 en el caso de la Figura 20A, con el fin de romper y cortar el objeto 1. En el caso de la Figura 20B, por otro lado, el borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 del objeto 1, con el fin de romper y cortar el objeto 1.

Cuando las respectivas regiones del punto de partida para el corte se forman en el sustrato 15 y en la parte laminada 17 usando la luz de láser con una longitud de onda a la que tanto el sustrato 15 como la parte laminada 17 son transparentes o presentan una baja absorción, se puede eliminar una operación de revertir el objeto 1 formado un método de trazado de diamante convencionales, por el que se puede evitar que el objeto 1 se rompa y así sucesivamente al momento de revertir la operación. Esto también puede evitar que ocurran las desviaciones de entre las respectivas regiones del punto de partida para el corte formadas en el sustrato 15 y en la parte laminada 17, por lo que el objeto 1 se puede cortar con una alta precisión. Además, el lubricante/agua de lavado que se requiere en el corte por cuchillas convencional no es necesario, por lo que no hay ningún problema de que el lubricante/agua de lavado entre en la brecha entre el sustrato 15 y la parte laminada 17.

En el caso de las Figuras 21A y 21B, el objeto 1 se irradia con luz de láser desde el lado de la cara trasera 21, para formar una región modificada 7 en el sustrato 15, y luego se irradia con la luz de láser desde el lado de la cara delantera 3, con el fin de formar una región modificada 7 en la parte laminada 17. En el caso de la Figura 21A, debido a la misma razón que en el caso del objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 1, el borde afilado 23 se presiona inicialmente contra la cara trasera 21 del objeto 1, con el fin de romper y cortar el sustrato 15, y luego el borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 del objeto 1, con el fin de romper y cortar la parte laminada 17. En el caso de la Figura 21B, por otro lado, el borde afilado 23 se presiona inicialmente contra la cara delantera 3 del objeto 1, con el fin de romper y cortar el sustrato 15, y luego el borde afilado 23 se presiona contra la cara trasera 21 del objeto 1, con el fin de romper y cortar la parte laminada 17.

#### Ejemplo 6

La Figura 22 es una vista en sección que muestra una parte principal del objeto 1 que tiene que procesarse de acuerdo con el Ejemplo 6. Este objeto 1 es uno en el que se dispone una serie de regiones que forman virutas F

sobre un sustrato 15, que es una oblea de silicio, mientras que se forma una región de línea de corte D entre las regiones que forman virutas F, F adyacentes entre sí. La Figura 22 muestra una sección transversal de una parte en la que la región que forma virutas F y la región de la línea de corte D son continuas entre sí. Una línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto se fija a lo largo de la región de la línea de corte D.

Como se muestra en este dibujo, se forma una película de aislamiento de capa intermedia (parte laminada) 31 sobre el sustrato 15, mientras que se dispone una capa de cables de metal 32 sobre la película de aislamiento de capa intermedia 31 en la región que forma virutas F en el sustrato 15. Además, una película de aislamiento de capa intermedia (parte laminada) 33 se forma con el fin de cubrir la película de aislamiento de capa intermedia 31 y la capa de cables de metal 32 sobre el sustrato 15, mientras que se forma una capa de cables de metal 34 en la película de aislamiento de capa intermedia 33 en la región que forma virutas F del sustrato 15. El sustrato 15 y la capa de cables de metal 32 están conectados eléctricamente entre sí con un enchufe 35 que penetra a través de la película de aislamiento de capa intermedia 31. Las capas de cables de metal 32 y 34 están conectadas eléctricamente entre sí con un enchufe 36 que penetra a través de la película de aislamiento de capa intermedia 33.

Por lo tanto, el objeto configurado 1 se irradia con luz de láser, mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz P en el sustrato 15, a fin de formar una región modificada 7 en el sustrato 15 a lo largo de la región de la línea de corte D (es decir, a lo largo de la línea por la que se debe cortar el objeto), y hacer que la región modificada 7 forme una región del punto de partida para el corte. Después, el objeto 1 se puede cortar con una alta precisión cuando el borde afilado 23 se presiona contra la cara delantera 3 o la cara trasera 21 del objeto 1 a lo largo de la región del punto de partida para el corte.

El objeto 1 se puede cortar con una alta precisión incluso cuando las películas de aislamiento 31, 32 fabricadas de  $\text{SiO}_2$ , SIN, o similares, se forman como las partes laminadas en la línea a lo largo de la que se debe cortar el objeto en el sustrato 15 como con el objeto 1 de acuerdo con el Ejemplo 6 anterior.

A pesar de que la realización de la presente invención se explica en detalle en las secciones anteriores, la presente invención no se limita a la realización mencionada anteriormente.

A pesar de que la realización mencionada anteriormente se refiere a un caso en el que un objeto que tiene que procesarse que comprende un sustrato y una parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato se irradia con luz de láser, a fin de formar una región del punto de partida para el corte, un sustrato se puede irradiar inicialmente con luz de láser, a fin de formar una región del punto de partida para el corte, y después la cara delantera del sustrato puede estar provista de una parte laminada, con el fin de formar un objeto que tiene que procesarse en la presente invención.

Aunque la región del punto de partida para el corte se forma en el sustrato antes de proporcionar la superficie del sustrato con una parte laminada en este método de procesamiento por láser, la región modificada se forma sólo a nivel local por la absorción multifotónica, de modo que la luz de láser no se absorbe por la cara delantera del sustrato, por lo que la cara delantera del sustrato no se derrite. Por lo tanto, como en el caso en el que no se forma ninguna región modificada en el sustrato, la cara delantera del sustrato se puede proporcionar con la parte laminada, con el fin de formar el objeto que tiene que procesarse. Debido a la misma razón que en la realización mencionada anteriormente, el objeto así formado que tiene que procesarse se puede romper y cortar con una fuerza relativamente pequeña desde la región del punto de partida para el corte formada en el sustrato como un punto de partida.

### **Aplicación industrial**

En el método de procesamiento por láser de acuerdo con la presente invención, como se ha explicado en las secciones anteriores, una región modificada formada por un fenómeno de absorción multifotónica puede formar un área de para iniciar el corte dentro de un sustrato de un objeto que tiene que procesarse a lo largo de una línea conveniente a lo largo de la que se debe cortar el objeto para realizar el corte del objeto. Además, en vista del espesor, material, etc. de la parte laminada dispuesta en la cara delantera del sustrato, la distancia desde la cara delantera del sustrato hasta la región modificada en la región del punto de partida para el corte se puede controlar mediante la regulación de la posición en la que se posiciona el punto de convergencia de luz de la luz de láser. Por lo tanto, el objeto configurado de tal manera que la parte laminada se dispone en la cara delantera del sustrato se puede romper y cortar con una fuerza relativamente pequeña desde la región del punto de partida para el corte formada en el sustrato, que actúa como un punto de partida. La parte laminada se puede irradiar también con luz de láser, mientras que se posiciona el punto de convergencia de luz en el mismo. En este caso, el objeto se puede romper y cortar con una fuerza menor. Debido a lo anterior, los objetos que se tienen que procesar con diversas estructuras laminadas se pueden cortar con una alta precisión.

## REIVINDICACIONES

1. Un método de procesamiento por láser que comprende la etapa irradiar un objeto (1) que tiene que procesarse que comprende un sustrato (15) y una parte laminada (17) dispuesta en una cara delantera del sustrato (15) con luz de láser (L), mientras que se posiciona un punto de convergencia de luz (P) dentro del sustrato (15), para formar una región modificada (7) sólo dentro del sustrato (15), y hacer que la región modificada (7) forme una región del punto de partida, ubicada dentro del sustrato (15) a una distancia predeterminada desde la cara incidente de luz de láser del objeto (1), para cortar el objeto;  
cortar el sustrato (15) y la parte laminada (17) a lo largo de la línea (15) a lo largo de la que se tiene que cortar el objeto cuando una fractura generada en una dirección del espesor del sustrato (15) desde la región del punto de partida alcance una cara delantera y una cara trasera del objeto (1).
2. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el objeto (1) se irradia con la luz de láser (L), para formar la región modificada (7) debido a la absorción multifotónica sólo dentro del sustrato (15).
3. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el objeto (1) se irradia con la luz de láser (L) bajo 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 impulso de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de formar una región modificada (7) que incluye una región de ruptura al menos en el sustrato (15).
4. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el objeto (1) se irradia con la luz de láser (L) bajo 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 impulso de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de formar la región modificada (7) que incluye una región procesada fundida sólo dentro del sustrato (15).
5. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el objeto (1) se irradia con la luz de láser (L) bajo 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 impulso de 1  $\mu$ s o menos, con el fin de formar la región modificada que incluye una región cambiante del índice de refracción que es una región con un índice de refracción cambiado sólo dentro del sustrato (15).
6. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el objeto (1) que comprende el sustrato (15) que se fabrica de un material semiconductor y la parte laminada (17) se irradia con la luz de láser (L) bajo 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 impulso de 1  $\mu$ s o menos.
7. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el objeto (1) que comprende el sustrato (15) que se fabrica de un material piezoeléctrico y la parte laminada (17) se irradia con la luz de láser (L) bajo 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 impulso de 1  $\mu$ s o menos.
8. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el objeto (1) que comprende el sustrato (15) que se fabrica de un material semiconductor y la parte laminada (17) se irradia con la luz de láser (L) con el fin de formar un región procesada fundida sólo dentro del sustrato (15), y hacer que la región procesada fundida forme la región del punto de partida para el corte.
9. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el sustrato (15) y la parte laminada (17) se cortan a lo largo de la línea (5), irradiando el objeto (1) con la luz de láser (L) en tanto se posiciona el punto de convergencia de luz (P) en el sustrato (15) con el fin de formar un región modificada (7) sólo dentro del sustrato (15), y hacer que la región modifica (7) forme la región del punto de partida para el corte a lo largo de la línea (7) interior a una distancia predeterminada desde la cara incidente de luz de láser del objeto (1).
10. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 ó 9, en el que la región modificada (7) incluye al menos una región de ruptura que es una región en la que se genera la ruptura en el sustrato (15), una región procesada fundida que es una región sometida a la fundición dentro del sustrato (15), y una región cambiante del índice de refracción que es una región con índice de refracción cambiado dentro del sustrato (15).
11. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la luz de láser (L) irradia el objeto (1) desde una cara trasera (21) del sustrato (15).
12. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la región modificada (7) sólo se forma dentro del sustrato (15) de tal manera que la región modificada (7) se forma hacia una cara trasera (21) del sustrato (15) en la dirección del espesor.
13. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende además la etapa de

aplicar esfuerzo al objeto (1) desde el lado de la parte laminada (17) después de la etapa de formar la región del punto de partida para el corte, con el fin de cortar el sustrato (15) en la parte laminada (17) a lo largo de la línea (5).

5 14. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la región modificada (7) sólo se forma dentro del sustrato (15) de tal manera que la región modificada (7) se forma hacia la cara delantera del sustrato (15) en la dirección del espesor.

10 15. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 14 que comprende además la etapa de aplicar esfuerzo al objeto (1) desde el lado opuesto a la parte laminada (17) después de la etapa de formar la región del punto de partida para el corte, con el fin de cortar el sustrato (15) en la parte laminada (17) a lo largo de la línea (5).

15 16. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sustrato (15) y la parte laminada (17) son una pluralidad de sustratos formados mientras colindan.

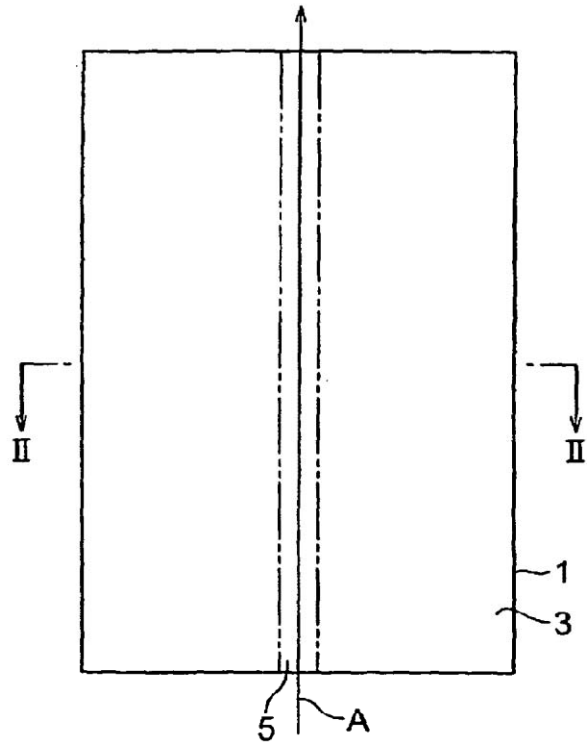
20 17. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el objeto (1) comprende el sustrato (15) y la parte laminada (17), la parte laminada (17) incluye una primera parte laminada que es una película de óxido dispuesta en la cara delantera del sustrato (15) y una segunda parte laminada dispuesta en la cara delantera de la primera parte laminada (3).

18. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el objeto (1) comprende el sustrato (15) que es un sustrato de vidrio y la parte laminada (17) que es una película funcional laminada.

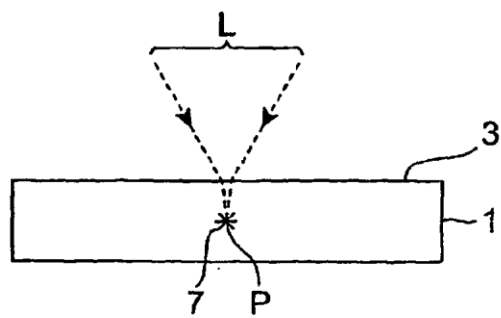
25 19. Un método de procesamiento por láser de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el objeto (1) comprende el sustrato (15) y la parte laminada (17) que es una película funcional laminada.



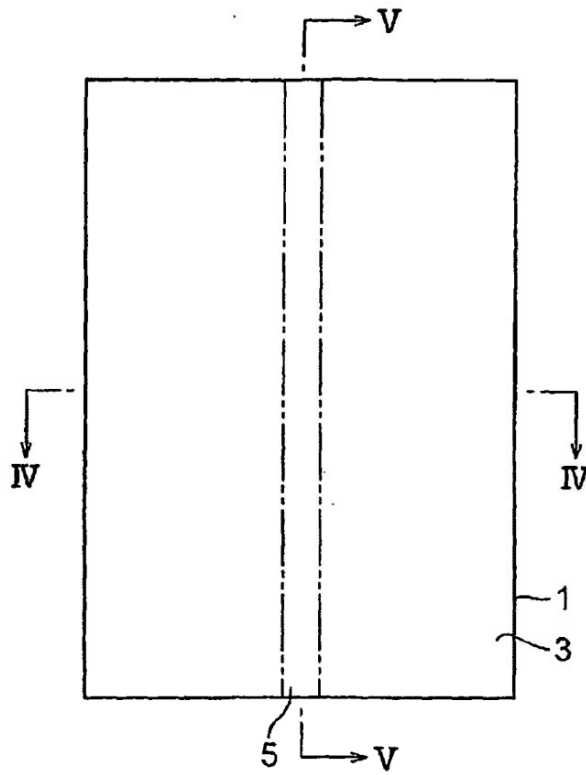
**Fig.1**



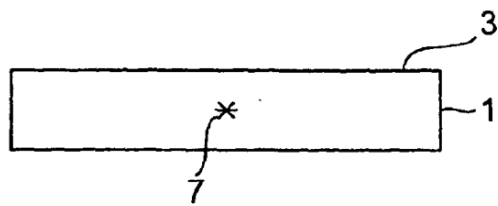
**Fig.2**



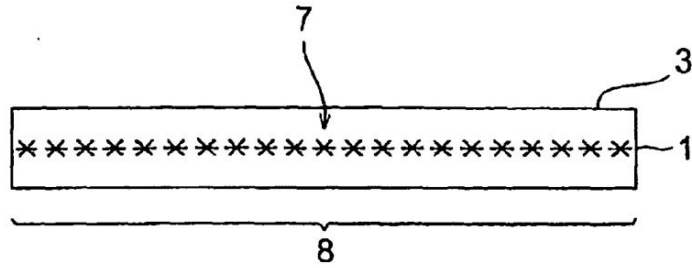
**Fig.3**



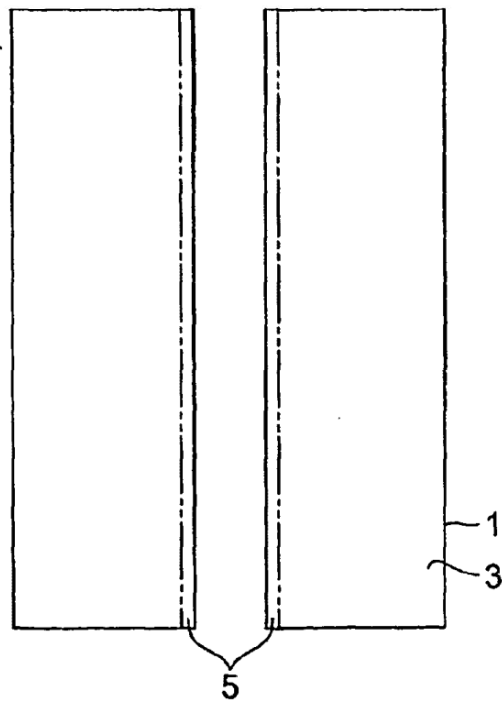
**Fig.4**



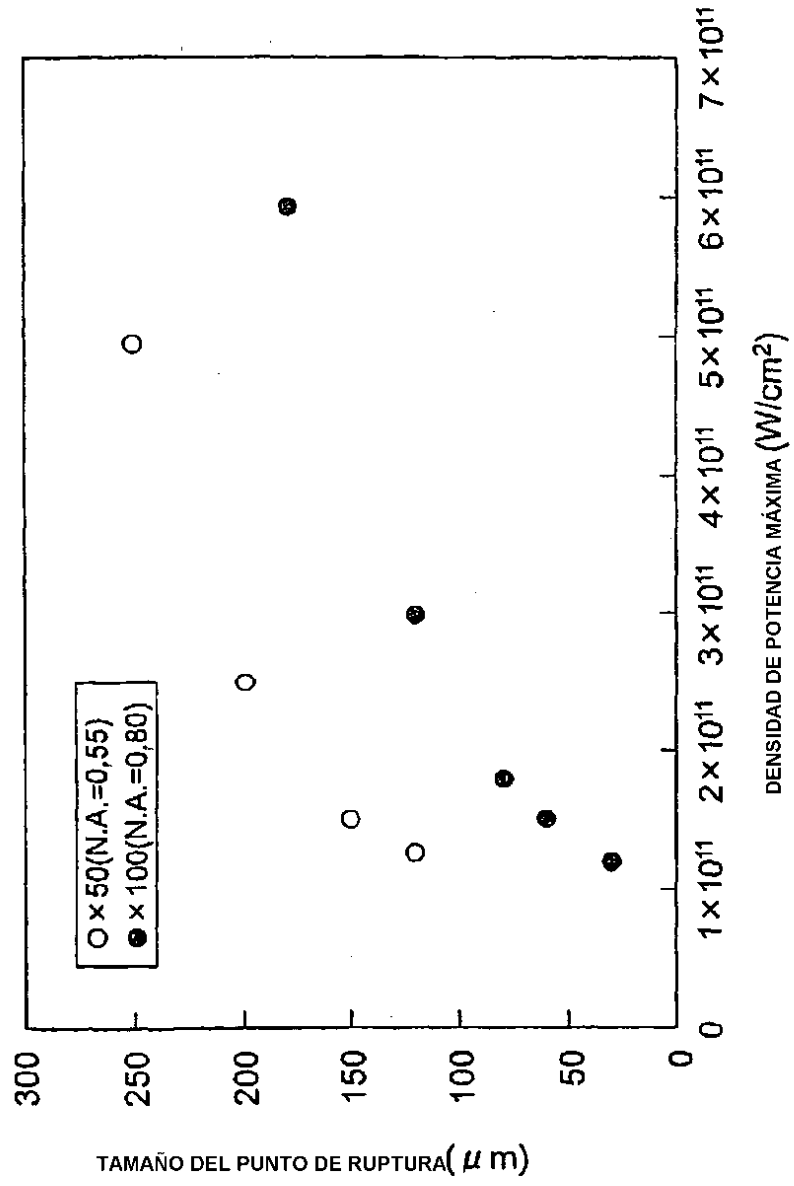
**Fig.5**



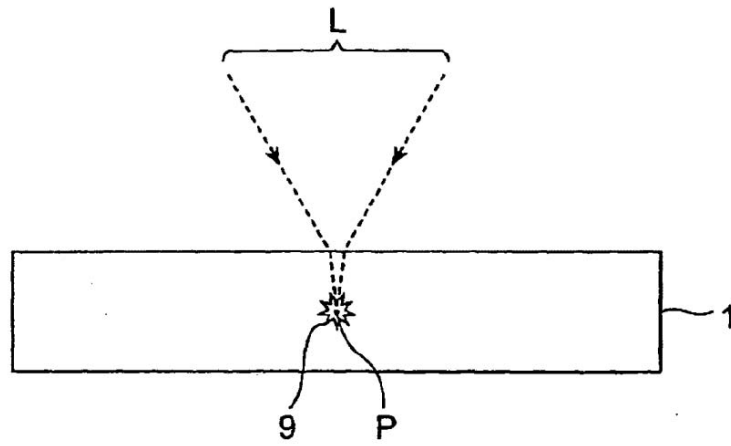
**Fig.6**



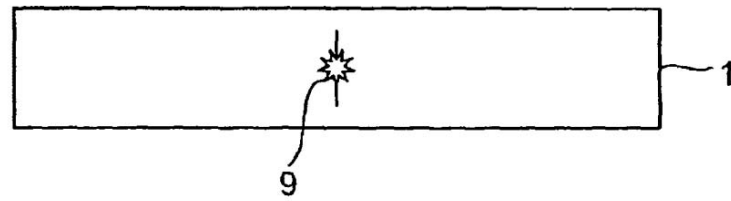
**Fig.7**



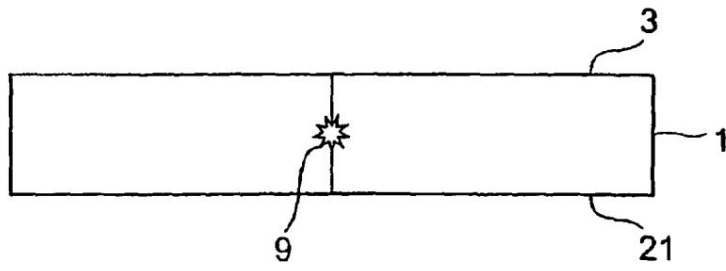
**Fig.8**



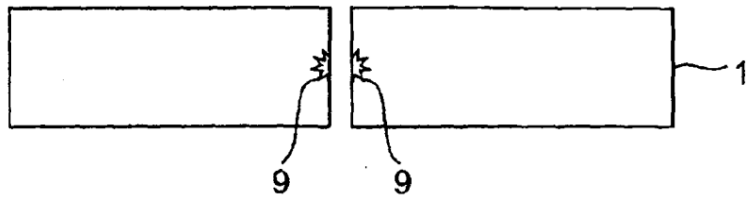
**Fig.9**

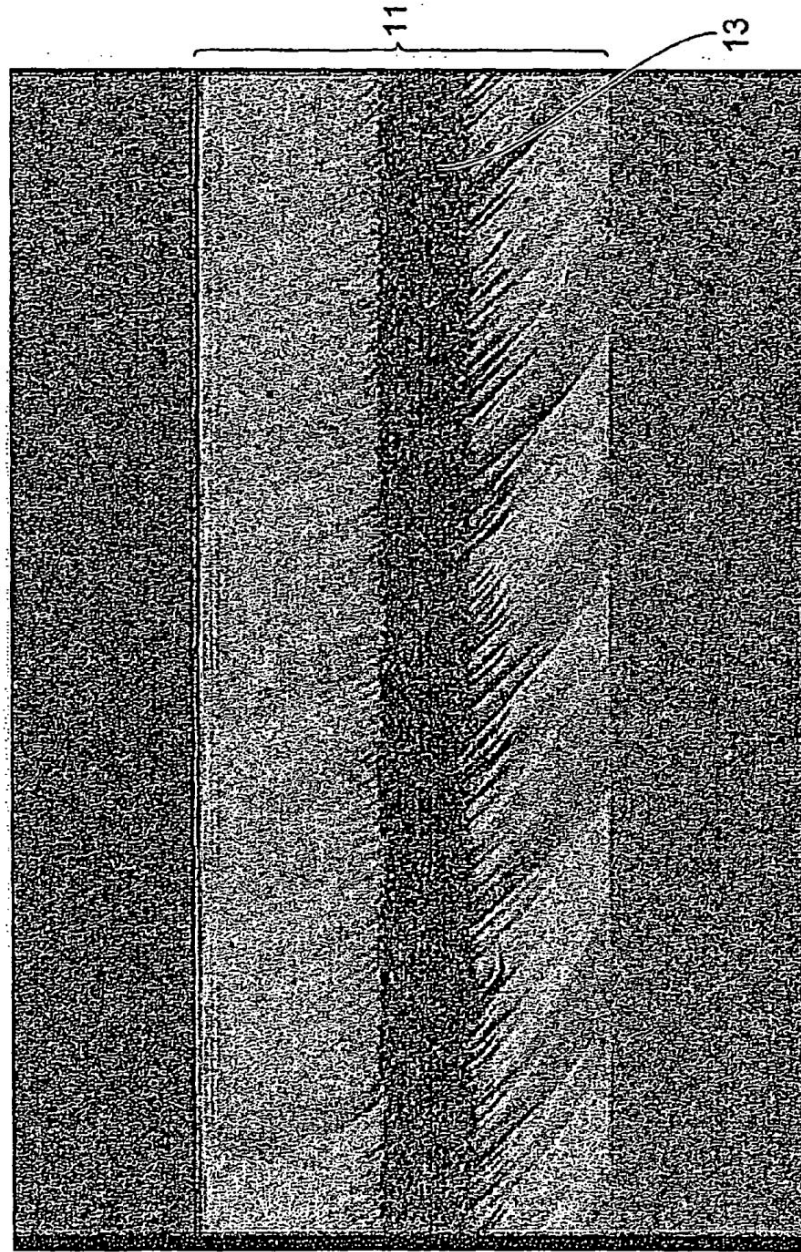


**Fig.10**



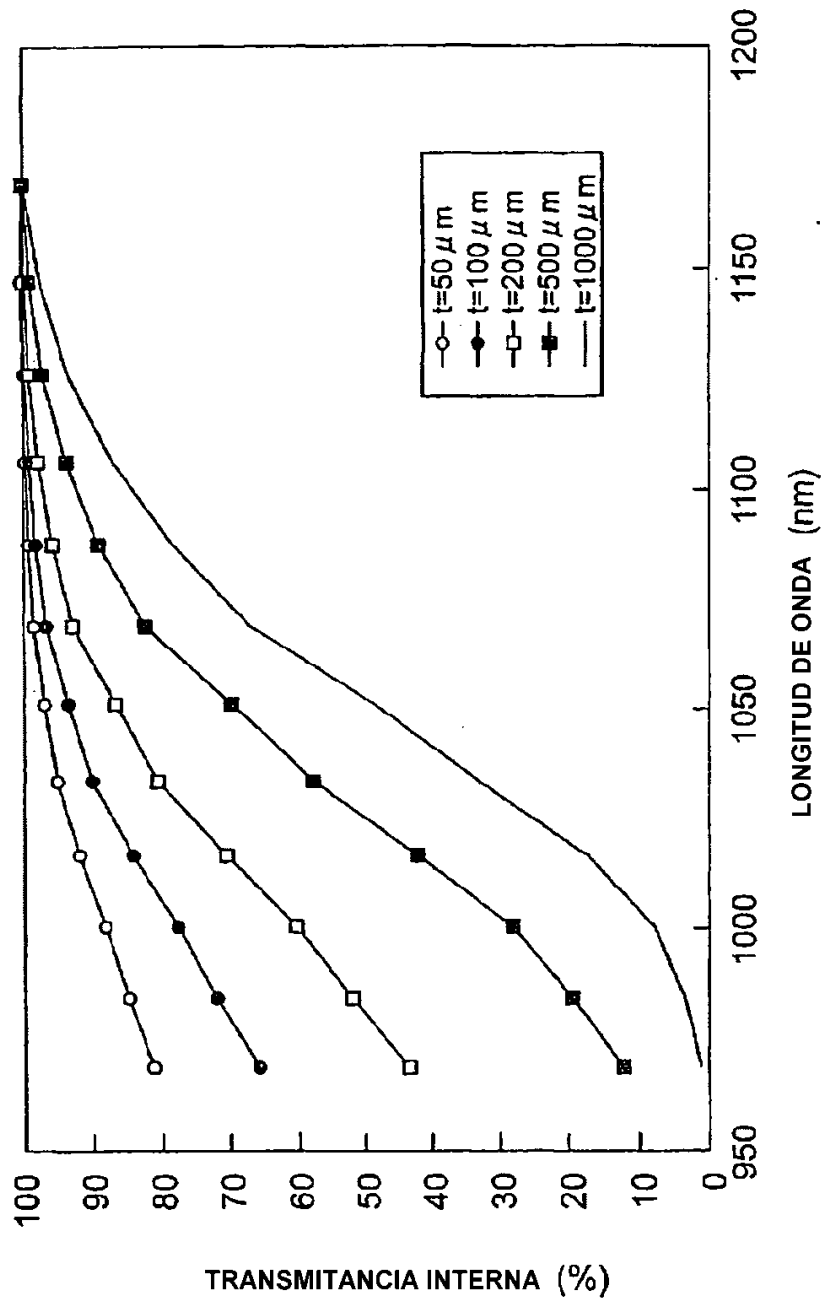
**Fig.11**





**Fig.12**

**Fig.13**





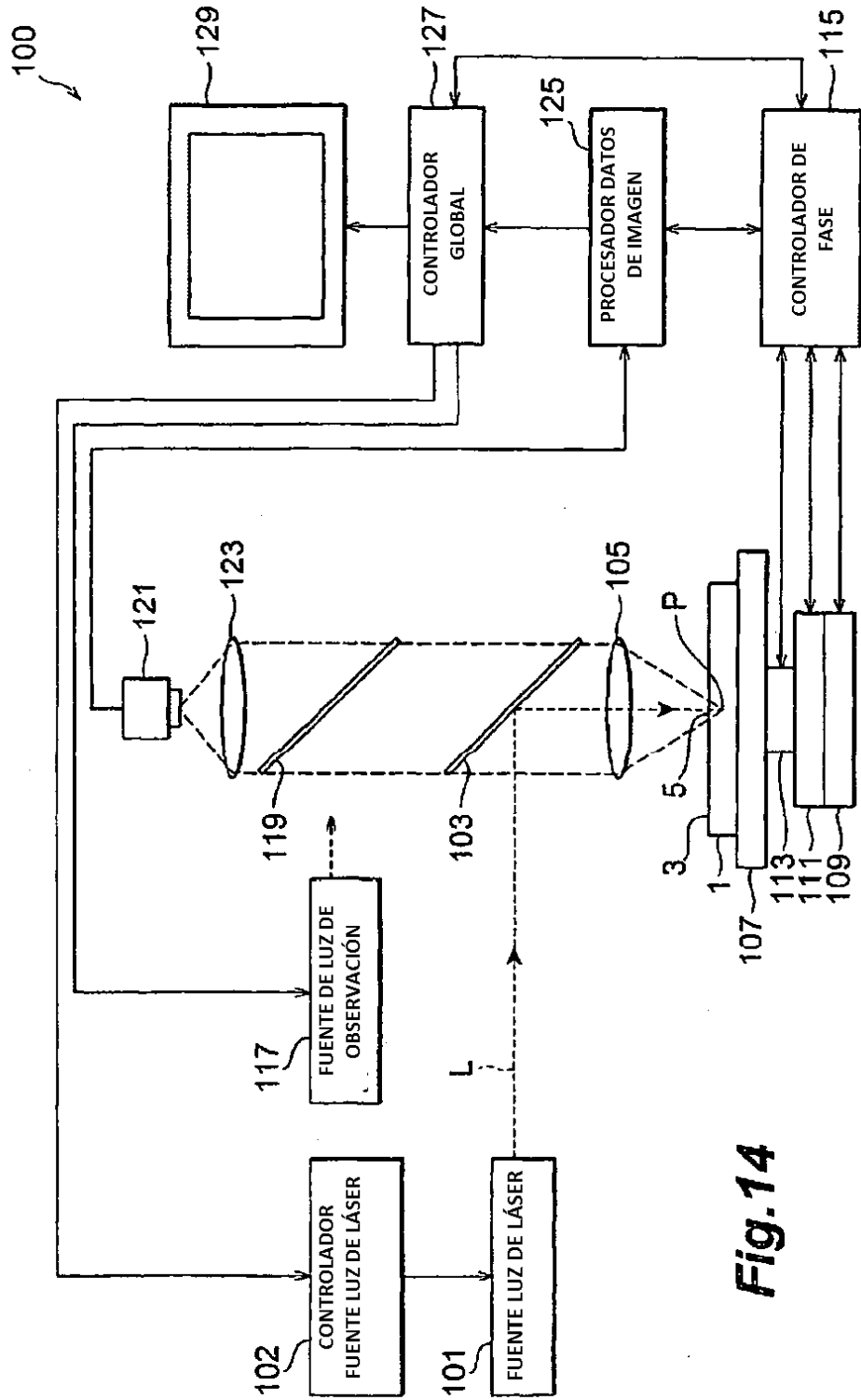
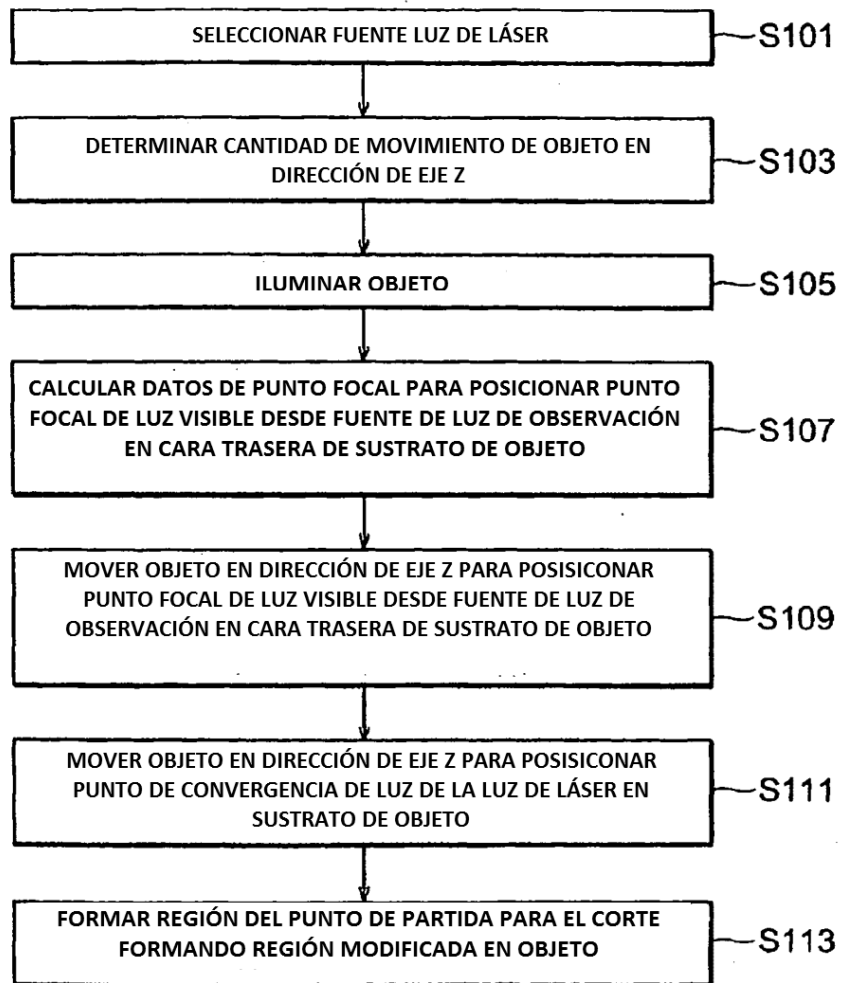
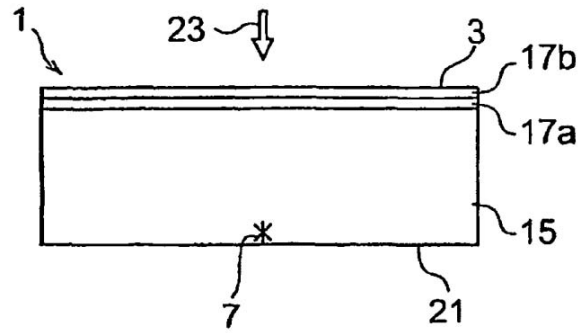


Fig.14

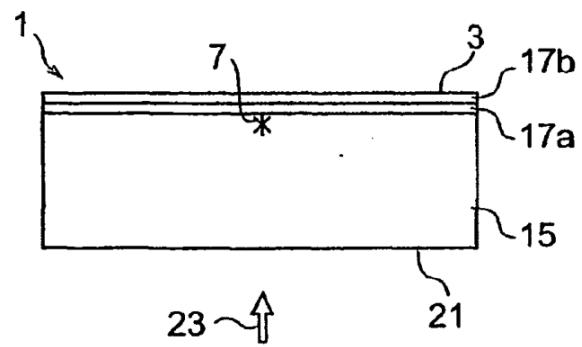
**Fig.15**



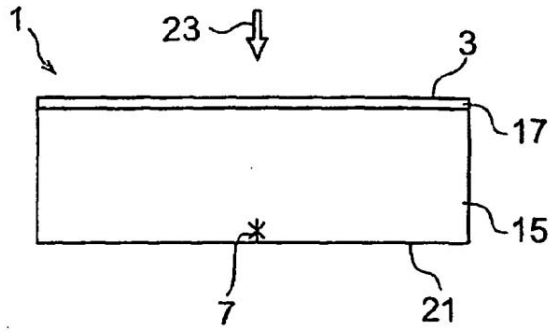
**Fig.16A**



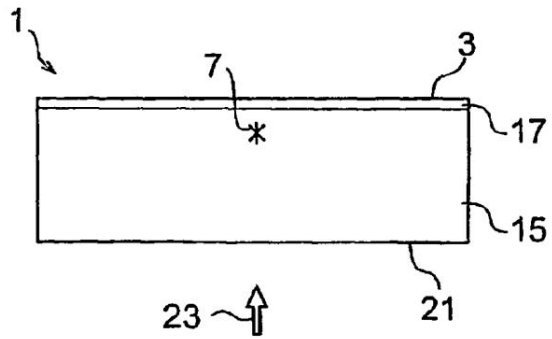
**Fig.16B**



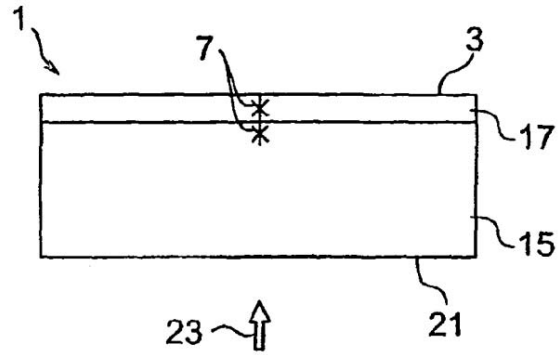
**Fig.17A**



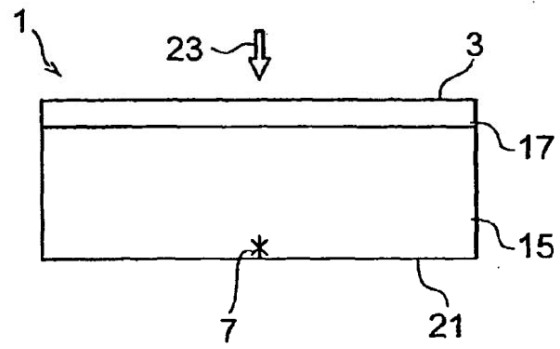
**Fig.17B**



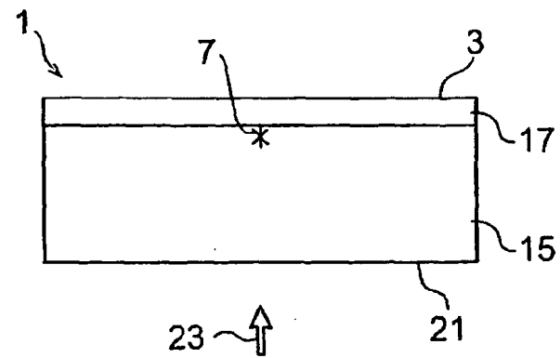
**Fig.18A**



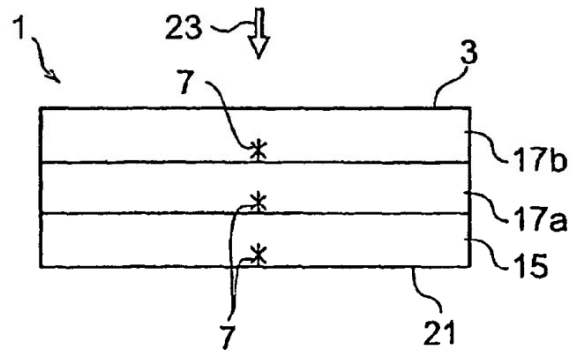
**Fig.18B**



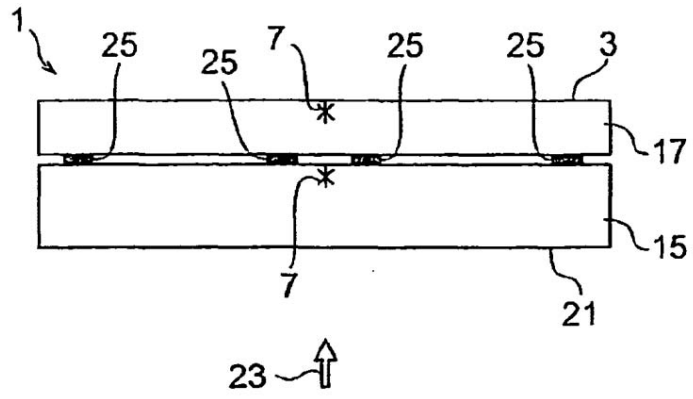
**Fig.18C**



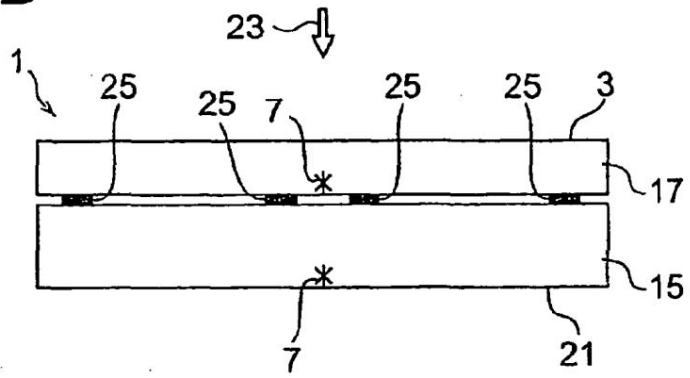
**Fig.19**



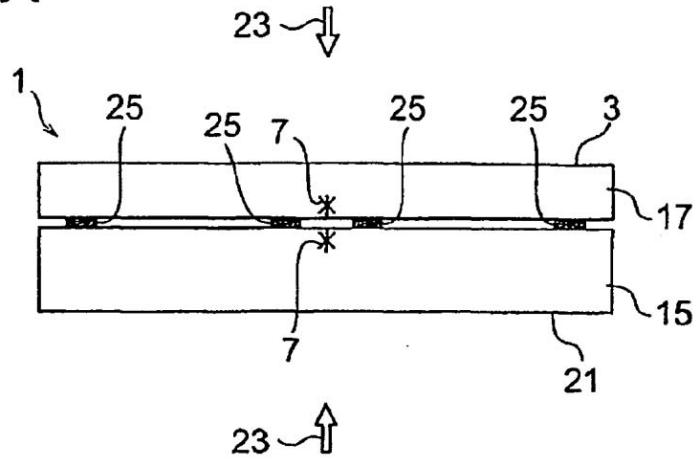
**Fig.20A**



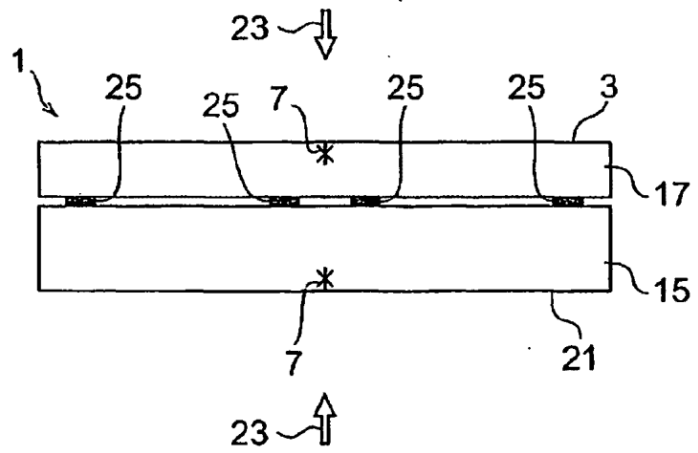
**Fig.20B**



**Fig.21A**



**Fig.21B**





**Fig.22**

