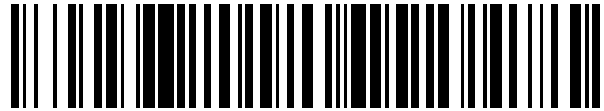


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 590**

51 Int. Cl.:

B23K 26/06 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.05.2007 E 07734434 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.08.2014 EP 2077925**

54 Título: **Sistema y procedimiento de procesamiento de materiales con láser de tasa de repetición variable**

30 Prioridad:

27.07.2006 US 460567

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

10.12.2014

73 Titular/es:

**TECHNOLAS PERFECT VISION GMBH (100.0%)
MESSERSCHMITTSTRASSE 1+3
80992 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

LOESEL, FRIEDER

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 524 590 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

Sistema y procedimiento de procesamiento de materiales con láser de tasa de repetición variable.

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención concierne generalmente a sistemas de láser que se usan para modificar y procesar materiales de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y concierne a un procedimiento para procesar materiales de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 10. Más particularmente, la presente invención concierne a sistemas de láser pulsado que se usan para procesar materiales con secciones del procedimiento que requieren diferentes niveles de energía para la interacción del láser-material (es decir ablación). La presente invención es particularmente, pero no exclusivamente, útil para emplear el nivel de energía requerido efectivo mientras se optimiza la tasa de repetición de pulsos de un sistema de láser durante un procedimiento de procesamiento de materiales.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Cualquier material, independientemente de si es homogéneo o compuesto, se puede procesar en un número indeterminado de modos diferentes. Y, dependiendo de los resultados deseados, el procedimiento que se selecciona para procesar el material se puede llevar a cabo usando parámetros de funcionamiento que puedan requerir ser cambiados durante el procedimiento. De particular interés aquí son los sistemas de láser que procesan o modifican material a efectos de cortar, remodelar o retirar porciones del/los material/es. Como es bien sabido, los procesos de láser para hacer esto suponen habitualmente fenómenos como la ruptura óptica inducida por láser (LIOB), la fotodescomposición, o la fotoablación.

25

En los últimos años (es decir desde la invención del láser en los años 60) los sistemas de láser se han usado de forma efectiva para modificar o procesar un número significativo de materiales de diferentes tipos. Más recientemente, se ha reconocido que los rayos láser que tienen pulsos de láser de duración ultra-corta (por ejemplo una duración de picosegundos y femtosegundos) son particularmente efectivos para muchas aplicaciones. Normalmente, tales sistemas de láser son operados a un nivel fijo de energía de los pulsos, con una tasa de repetición de pulsos fija. De ese modo, ha sido una práctica estándar determinar el nivel de energía que se requiere en los pulsos de láser para procesar de forma efectiva un material/es objetivo. Una tasa de repetición de pulsos que mantendrá este nivel de energía se acepta entonces. Si se necesitaran energías más bajas de las secciones de un procedimiento de procesamiento, la energía de salida del láser se reduciría simplemente usando tipos bien conocidos de atenuadores manteniéndose a su vez la misma tasa de repetición de pulsos. Esto, sin embargo, no considera el hecho de que los cambios en una repetición de pulsos darán como resultado cambios en el nivel de energía de los pulsos de láser en el rayo. Ocurre para muchas aplicaciones que este hecho se puede usar de forma ventajosa.

40 Del documento US-2005/271095-A1 es obtenible un sistema para procesar materiales con una fuente de láser para generar un rayo de pulsos de láser y un medio óptico para dirigir el rayo láser a un área objetivo en el material.

Con referencia a la Fig. 1, se muestra la relación de la energía de los pulsos y la tasa de repetición en un rayo láser típico de pulsos ultra-cortos. Específicamente, la Fig. 1 muestra que a medida que se incrementa la tasa de repetición (R) de pulsos en un rayo láser, el nivel de energía (E) de los pulsos disminuye. Expresado de otra forma, el nivel de energía en cada pulso depende de la tasa de repetición de pulsos, y varían a la inversa. Como se indica anteriormente, esta tendencia se puede usar para obtener provecho puesto que muchos, de hecho la mayoría, de los materiales no son homogéneos. De ese modo, tales materiales (por ejemplo compuestos) tendrán diferentes umbrales de energía para la ablación, y por lo tanto requieren diferentes niveles de energía para modificar o procesar diferentes secciones del material. Asimismo, incluso en materiales homogéneos, diferentes secciones dentro de un procedimiento de procesamiento pueden requerir diferentes niveles de energía.

En vista de lo anteriormente mencionado, es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema y un procedimiento para predeterminar el nivel de energía requerido para modificar o procesar una sección de material, y después usar la tasa de repetición de pulsos máxima correspondiente con vistas a reducir el tiempo requerido para llevar a cabo un procedimiento de procesamiento de material. Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y procedimiento para procesar un material que emplee de forma efectiva una tasa de repetición de pulsos variable para minimizar el tiempo requerido para llevar a cabo un procedimiento de procesamiento de material. Otro objeto más de la presente invención es proporcionar un sistema y un procedimiento para procesar un

material que varíe de forma selectiva la tasa de repetición de pulsos de un rayo láser, conforme a instrucciones pre-programadas o bien en respuesta a controles de retroalimentación en bucle cerrado. Otro objeto más de la presente invención es proporcionar un sistema y un procedimiento para procesar un material que sea relativamente simple de fabricar, sea fácil de usar, y sea relativamente rentable.

5

RESUMEN DE LA INVENCION

El objeto anteriormente mencionado se logra mediante un sistema y un procedimiento para procesar materiales de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 10.

10

De acuerdo con la presente invención, un sistema para procesar materiales incluye una fuente de láser para generar un rayo láser. Específicamente, el rayo incluye una secuencia de pulsos de láser que tienen cada uno un nivel de energía predeterminado. Además, la duración de cada pulso en el rayo láser es ultra-corta, y se halla preferentemente en el intervalo de picosegundos o femtosegundos. Con esto en mente, es un aspecto importante de la presente invención que la fuente de láser sea operada para variar la tasa de repetición de pulsos de láser en el

15

Además de la fuente de láser, el sistema de la presente invención también incluye una óptica para dirigir el rayo láser a un área objetivo (por ejemplo mancha focal) y para mover entonces el punto de interacción a lo largo de una trayectoria a través del material que se va a procesar. Como se sobrentiende anteriormente, el sistema también incluye un evaluador que determina un nivel de energía requerido (es decir predeterminado) para cada pulso de láser en manchas focales particulares. Específicamente, el valor de este nivel de energía requerido es cualquiera que sea necesario para procesar el material en la mancha focal (por ejemplo el área objetivo).

20

También se proporciona una unidad de control para identificar una tasa de repetición de pulsos requerida, basada en el nivel de energía requerido predeterminado mencionado anteriormente. Además, se proporciona un selector para variar la tasa de repetición de pulsos requerida, según sea necesario, con el fin de establecer y mantener el nivel de energía requerido en los pulsos de láser. Como se concibe para la presente invención, se pueden realizar variaciones en la tasa de repetición de pulsos del rayo láser automáticamente mediante el selector durante un procedimiento. Para este fin, el selector puede responder a instrucciones pre-programadas, o bien a controles de retroalimentación en bucle cerrado.

30

Como un ejemplo de un procedimiento que se puede llevar a cabo de forma útil mediante el sistema de la presente invención, considérese un material sustancialmente transparente que pueda tener diferentes requisitos de procesamiento del nivel de energía (por ejemplo diferentes umbrales de energía) dentro del material. En tal caso es muy posible que sea ventajoso variar la tasa de repetición de pulsos con vistas a minimizar el tiempo requerido para llevar a cabo el procedimiento. Por ejemplo, esto se puede hacer usando una primera tasa de repetición de pulsos requerida (R_1) en una sección del procesamiento que tiene un requisito de procesamiento de energía relativamente alta (P_1), y usando una segunda tasa de repetición de pulsos requerida (R_2) en una sección del procesamiento que tiene un requisito de procesamiento de energía relativamente baja (P_2). En el procedimiento, R_1 no es igual a R_2 . En lugar de eso R_2 será más rápida (por ejemplo $R_1 < R_2$).

35

40

Para la presente invención, se concibe que el procesamiento (es decir ablación) de materiales supondrá modificar el material durante una interacción del láser-material. Como se observó anteriormente, esta interacción puede ser la ruptura óptica inducida por láser (LIOB), la fotodescomposición, o la fotoablación. En cualquier caso, también se concibe que esta interacción del láser-material inducirá una respuesta identificable del material. Por ejemplo, la respuesta identificable de la LIOB puede ser una burbuja de gas, y la respuesta identificable de la fotoablación puede ser una chispa de plasma. Para la forma de realización de la presente invención que depende del control de retroalimentación en bucle cerrado, la respuesta identificable de la interacción del láser-material es monitorizada por un detector. Un conmutador que se conecta al selector puede ser operado entonces en respuesta a las señales del detector. Específicamente, la combinación de conmutador/selector para esta forma de realización de la presente invención cambiará entonces la tasa de repetición de pulsos del rayo láser, según sea apropiado. En la práctica, todo esto se hace como un control de retroalimentación en respuesta a los cambios en la respuesta identificable en el material.

50

55

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Las características novedosas de esta invención, así como la propia invención, tanto con respecto a su estructura como a su operación, se entenderán mejor por los dibujos adjuntos, tomados en conjunción con la descripción

adjunta, en los que los caracteres de referencia similares se refieren a partes similares, y en los que:

La Fig. 1 es una gráfica que muestra la relación entre la energía de los pulsos y la tasa de repetición en una fuente de láser típica de pulsos ultra-cortos;

5

La Fig. 2 es una esquemática de un sistema para procesar un material de acuerdo con la presente invención;

La Fig. 3A es una representación de una trayectoria de rayo a través de un material no homogéneo (por ejemplo compuesto) como se concibe para la presente invención;

10

La Fig. 3B es una representación de una trayectoria de rayo a través de un material homogéneo, en el que diferentes secciones del material tienen diferentes requisitos de procesamiento; y

La Fig. 4 es una vista representativa de una sección transversal de un ojo que muestra un procedimiento que usa la presente invención.

15

DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

Con referencia inicialmente a la Fig. 2, se muestra esquemáticamente un sistema para procesar un material de acuerdo con la presente invención y es designado generalmente con el número 10. Como se muestra, el sistema 10 incluye una fuente de láser 12 y un selector 14. La fuente de láser 12 también se conecta a una óptica de entrega de rayo 16. Estos diversos componentes del sistema 10 (es decir la fuente de láser 12, el selector 14 y la óptica de entrega de rayo 16) se conectan también cada uno en comunicación electrónica de doble sentido con una unidad de control 18. Además, el sistema 10 también incluye un conmutador 20 que está interconectado entre la unidad de control 18 y el selector 14. Como se da a conocer más adelante, el conmutador 20 es opcional y se puede usar selectivamente en la operación del sistema 10, si se desea. Adicionalmente, el sistema 10 puede incluir un controlador/energía (atenuador) 21. Específicamente, el controlador/energía 21 se puede instalar para los ajustes finos de la energía en los pulsos del rayo láser pulsado 22 que son generados por la fuente de láser 12. Preferentemente, el controlador/energía de los pulsos 21 es de un tipo dado a conocer en la Solicitud de patente estadounidense núm. de serie 10/835.088 que se asigna al mismo cesionario de la presente invención.

20

25

30

Aún con referencia a la Fig. 2, se apreciará que el sistema 10 está destinado a generar un rayo láser pulsado 22, y a dirigir el rayo láser 22 a un material objetivo 24 (es decir pieza de trabajo) con el fin de procesar el material 24. Como se concibe para la presente invención, el rayo láser pulsado 22 comprenderá una secuencia de pulsos de láser, en la que cada pulso tiene una duración ultra-corta (por ejemplo una duración de picosegundos o femtosegundos), y tendrá una tasa de repetición de pulsos que se puede variar. Como también se concibe por la presente invención, el rayo láser pulsado 22 interactuará con el material objetivo 24 para provocar una interacción del láser-material (por ejemplo una ablación como la ruptura óptica inducida por láser (LIOB), la fotodescomposición o la fotoablación). Además, una consecuencia de la interacción del láser-material (es decir ablación) será la creación de una respuesta identificable del material objetivo 24. Habitualmente, tal respuesta se produce cuando el rayo láser 22 procesa o modifica el material objetivo 24. Por ejemplo, en el caso de la LIOB, esta respuesta identificable puede ser del tamaño de una burbuja de gas. En el caso de la fotoablación, la respuesta identificable puede ser una chispa de plasma. En todos los casos se concibe que el material objetivo 24 de algún modo será modificado (por ejemplo cortado, modelado, destruido o retirado) por la interacción del láser-material. Dependiendo del tipo de material que se procese, y la naturaleza del cambio deseado en el material, la interacción del láser-material puede ser superficial o bien intra-material.

35

40

45

La Fig. 2 también muestra que el sistema 10 incluye un detector 26 que, si se usa, monitorizará la respuesta identificable que resulta de una interacción del láser-material. Para este fin, el detector 26 se conecta electrónicamente a la unidad de control 18 para transmitir información a la unidad de control 18 acerca de la existencia o el cambio en una respuesta identificable. También, se proporciona un evaluador (interfaz de usuario) 28 para dar entrada a la unidad de control 18. Específicamente, como se concibe para el sistema 10, el evaluador 28 puede ser cualquier medio conocido en la técnica pertinente que proveerá a la unidad de control 18 de información acerca de los niveles de energía de los pulsos de láser que sean requeridos para una interconexión efectiva del láser-material con el material objetivo 24.

50

55

OPERACIÓN

En la operación del sistema 10, el material objetivo 24 se evalúa primero para determinar los niveles de energía de

los pulsos de láser que son requeridos para conseguir una interconexión efectiva del láser-material. Por ejemplo, se considera que el material objetivo 24 mostrado en la Fig. 3A es un material no homogéneo o compuesto que tiene una primera sección 30 y una segunda sección 32. En este ejemplo, se establece mediante el evaluador 28 que la primera sección 30 tenga un requisito de umbral de energía relativamente alto para el procesamiento con láser (P_1).

5 También se establece que la segunda sección 32 tenga un requisito de umbral de energía relativamente bajo para el procesamiento con láser (P_2). Además, el evaluador 28 también determina que el material objetivo 24 requiera el procesamiento a lo largo de una trayectoria 34 (es decir un patrón de corte) que pasa a través de ambas secciones 30 y 32 del material objetivo 24. Toda esta información (es decir los requisitos de energía P_1 y P_2 , así como la ubicación de la trayectoria 34) es proporcionada a la unidad de control 18 por el evaluador 28.

10

Con la información suministrada por el evaluador 28, la unidad de control 18 identifica las tasas de repetición de pulsos para el rayo láser 22 que son necesarias para mantener los niveles de energía requeridos para una interacción efectiva del láser-material. La unidad de control 18 usa entonces esta información para controlar la operación del sistema 10 cuando el rayo láser 22 interactúa con el material objetivo 24. Más específicamente, la

15 unidad de control 18 se comunica directamente con la fuente de láser 12, el selector 14 y la óptica de entrega de rayo 16 para mantener una tasa de repetición de pulsos requerida para el rayo láser 22. Preferentemente, la tasa de repetición de pulsos requerida será la tasa más alta (es decir la más rápida) que permitirá que el rayo láser 22 consiga los niveles de energía requeridos en sus pulsos individuales. En este ejemplo, considérese que la sección 30 del material objetivo 24 tiene un requisito de energía relativamente alta para procesar (P_1) y que la sección 32

20 tiene un requisito de energía relativamente baja para procesar (P_2). El sistema 10 puede usar entonces una tasa de repetición de pulsos más baja (R_1) para la energía más alta requerida a lo largo de la trayectoria 34 en la sección 30, y una tasa de repetición de pulsos más alta (R_2) para la energía más baja requerida a lo largo de la trayectoria 34 en la sección 32.

25 En otro ejemplo de la operación del sistema 10, se considera que el material objetivo 24' mostrado en la Fig. 3B es sustancialmente homogéneo. Puede ocurrir, sin embargo, que para procesar de forma efectiva el material objetivo 24', sea necesario tratarlo como teniendo diferentes secciones del procedimiento. En este ejemplo, considérese que tanto la sección del procedimiento superior 36a como la sección del procedimiento inferior 36b del material objetivo 24' tienen un requisito de energía más alta para procesar que la sección del procedimiento intermedia 38. Sin

30 embargo, es deseable procesar el material objetivo 24' moviendo el punto de interacción del rayo láser pulsado 22 a lo largo de una trayectoria continua 40, sin ninguna interrupción. Como consecuencia, con el fin de procesar correctamente el material objetivo 24' a lo largo de la trayectoria 40, es necesario variar de algún modo la energía de los pulsos en el rayo láser pulsado 22. De acuerdo con la presente invención esto se puede hacer simplemente variando la tasa de repetición de pulsos (R) del rayo láser 22. Específicamente, para el requisito de energía

35 relativamente más alta (E_1) que se necesita para procesar el material objetivo 24' en las secciones del procedimiento 36a y 36b, se usa una tasa de repetición de pulsos relativamente más baja (R_1). Por otro lado, para el requisito de energía relativamente más baja (E_2) necesario para procesar la sección del procedimiento intermedia 38, se puede usar una tasa de repetición de pulsos más alta (R_2).

40 En un modo de operación, la unidad de control 18 del sistema 10 se puede pre-programar con la información que es proporcionada por el evaluador 28. La fuente de láser 12 se puede entonces encender simplemente, y se lleva a cabo el procedimiento. Para hacer esto, la unidad de control 18 manipulará la óptica de entrega de rayo 16 y mantendrá tasas de repetición de pulsos apropiadas a través del selector 14 para lograr la interacción del láser-material deseada en el material objetivo 24. Todo esto se hace de acuerdo con el procedimiento pre-programado, y

45 se hace independientemente del tipo de material (24 ó 24') que se procese.

En otro modo de operación, el detector 26 se usa para monitorizar el material objetivo 24 a efectos del control de retroalimentación. En este modo, después de que se haya activado la fuente de láser 12, el detector 26 determinará si hay una interacción del láser-material y, si es así, si cambia. Las señales que son generadas entonces por el

50 detector 26 en respuesta a la información de la interacción del láser-material se realimentan a la unidad de control 18. La unidad de control 18 usará entonces estas señales para controlar de forma apropiada la operación de la fuente de láser 12, el selector 14 y la óptica de entrega de rayo 16.

Como se analizó anteriormente con referencia a la Fig. 3B, se apreciará que el sistema 10 de la presente invención

55 se puede usar para materiales sustancialmente homogéneos, es decir materiales que tengan un umbral de energía sustancialmente constante para una interconexión del láser-material. Específicamente, la córnea 42 de un ojo es tal material. En la Fig. 4 se muestra una córnea 42 con un colgajo 44 cortado de la misma. En este caso, el colgajo 44 está cortado desde un lecho del colgajo 46 en la córnea 42 y desde un borde del colgajo 48. Aquí, aunque el umbral de energía es sustancialmente constante por toda la córnea 42, puede ser deseable usar pulsos de energía más alta

cuando se corta el borde del colgajo 48. Si es así, de acuerdo con la presente invención, el lecho del colgajo 46 se puede cortar usando una tasa de repetición de pulsos más alta que la que se usa en el borde del colgajo 48. La consecuencia beneficiosa aquí es que todo el procedimiento se puede lograr en un periodo de tiempo más corto.

- 5 Mientras que el Sistema de Procesamiento de Material con Láser de Tasa de Repetición Variable particular como se ha mostrado y desvelado en detalle en este documento es totalmente capaz de obtener los objetos y de obtener las ventajas declaradas anteriormente en este documento, se entenderá que es meramente ilustrativo de las formas de realización actualmente preferidas de la invención y que no se pretende ninguna limitación a los detalles de construcción o diseño mostrados en este documento distintos a los descritos en las reivindicaciones anexas.

10

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) para procesar materiales (24) con un nivel de energía requerido que comprende:
- 5 Una fuente de láser (12) para generar un rayo (22) de pulsos de láser que tiene una tasa de repetición de pulsos; y
- Un medio óptico (16) para dirigir el rayo láser (22) a un área objetivo en el material (24); caracterizado por un medio para identificar una tasa de repetición de pulsos requerida para conseguir el nivel de energía requerido en el área objetivo; y
- 10 Un medio para establecer la tasa de repetición de pulsos requerida para mantener el nivel de energía requerido en los pulsos de láser para procesar el material.
2. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 1 en el que el medio de identificación es una
- 15 unidad de control (18) y el medio de establecimiento es un selector (14), en el que preferentemente el procesamiento de materiales (24) supone modificar el material (24) con una interacción del láser-material para inducir una respuesta identificable del material (24).
3. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 2 que comprende además:
- 20 Un detector (26) para monitorizar la respuesta identificable en el material (24); y
- Un conmutador (20) conectado al selector (14) para cambiar entre una primera tasa de repetición de pulsos requerida R_1 y una segunda tasa de repetición de pulsos requerida R_2 en respuesta a los cambios en la respuesta
- 25 identificable en el material (24).
4. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 3 en el que la interacción del láser-material es la ruptura óptica inducida por láser (LIOB), en el que el material (24) es un material sustancialmente transparente
- (24), y en el que una primera tasa de repetición de pulsos requerida (R_1) es mantenida por el selector (14) para su
- 30 uso en una sección de procedimiento (30) que tiene un requisito de procesamiento de energía relativamente alta (P_1), y una segunda tasa de repetición de pulsos requerida (R_2) es mantenida por el selector (14) para su uso en una sección de procedimiento (32) que tiene un requisito de procesamiento de energía relativamente baja (P_2), y en el que R_1 es inferior a R_2 ($R_1 < R_2$).
5. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 3 en el que la respuesta identificable es una burbuja de gas y el conmutador cambia entre R_1 y R_2 en respuesta a un cambio predeterminado en el diámetro de la burbuja de gas.
- 35
6. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 2, que comprende además:
- 40 Un evaluador (28) para determinar un nivel de energía requerido en cada pulso de láser para procesar el material (24) en el área objetivo.
7. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 6 en el que la interacción del láser-material se
- 45 selecciona de un grupo que consiste en la ruptura óptica inducida por láser (LIOB), la fotodescomposición, y la fotoablación, en el que preferentemente la respuesta identificable de la fotoablación es una chispa de plasma.
8. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 6 en el que el establecimiento de la tasa de
- repetición de pulsos requerida por el selector (14) se logra de acuerdo con un procedimiento pre-programado o en el
- 50 que el establecimiento de la tasa de repetición de pulsos requerida por el selector (14) se logra en respuesta al control de retroalimentación en bucle cerrado.
9. Un sistema (10) según se menciona en la reivindicación 6 en el que el medio óptico (16) dirige el rayo
- láser (22) a lo largo de una trayectoria a través del material (24) o en el que cada pulso de láser tiene una duración
- 55 en un intervalo que incluye femtosegundos y picosegundos.
10. Un procedimiento para procesar materiales (24) que comprende las etapas de:
- Determinar un nivel de energía requerido para procesar el material (24);

Proporcionar una fuente de láser (12) para generar un rayo (22) de pulsos de láser que tiene una tasa de repetición de pulsos;

5 Dirigir el rayo láser (22) a un área objetivo en el material (24);

Identificar una tasa de repetición de pulsos requerida para conseguir el nivel de energía requerido al área objetivo; y

10 Establecer la tasa de repetición de pulsos requerida para mantener el nivel de energía requerido en los pulsos de láser para procesar el material (24), caracterizado por las etapas adicionales de:

Monitorizar una respuesta identificable en el material (24) que resulta de la etapa de establecimiento; y

15 Cambiar entre una primera tasa de repetición de pulsos requerida R_1 y una segunda tasa de repetición de pulsos requerida R_2 en respuesta a los cambios en la respuesta identificable en el material (24).

11. Un procedimiento según se menciona en la reivindicación 10 que comprende además las etapas de:

20 Mantener la primera tasa de repetición de pulsos requerida (R_1) para su uso en una sección del procedimiento (30) que tiene un requisito de procesamiento de energía relativamente alta (P_1); y

Mantener la segunda tasa de repetición de pulsos requerida (R_2) para su uso en una sección del procedimiento (32) que tiene un requisito de procesamiento de energía relativamente baja (P_2), y en el que R_1 es inferior a R_2 ($R_1 < R_2$).

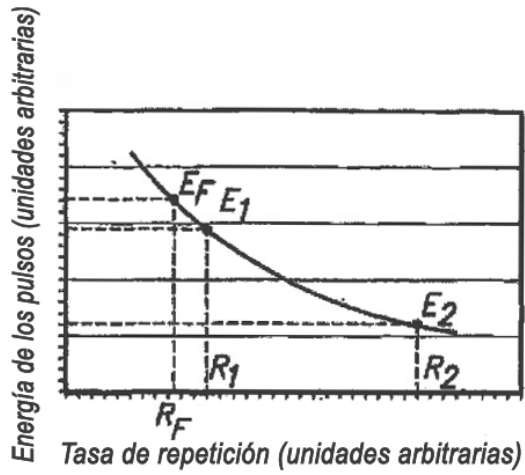


FIG. 1

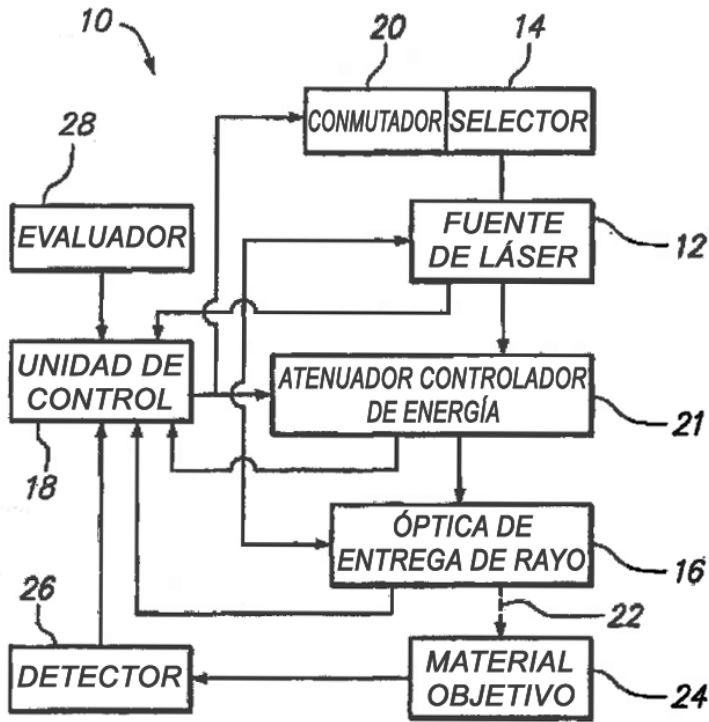


FIG. 2

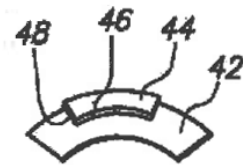


FIG. 4

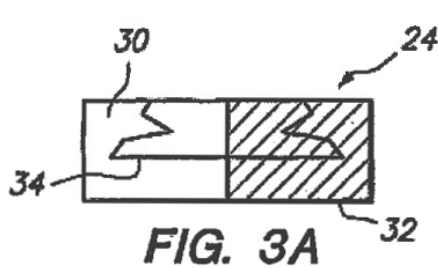


FIG. 3A

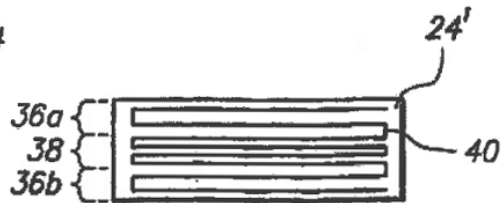


FIG. 3B