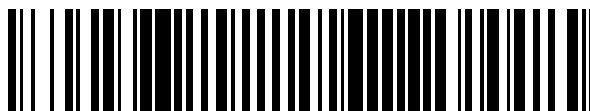


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 402 267**

51 Int. Cl.:

B41M 5/26 (2006.01)

H01S 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.09.2006 E 06790463 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2012 EP 1926603**

54 Título: **Procedimiento de marcación interna por láser en materiales transparentes**

30 Prioridad:

22.09.2005 BE 200500463

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

30.04.2013

73 Titular/es:

**TRACKINSIDE, SOCIÉTÉ ANONYME (100.0%)
RUE DES CHASSEURS ARDENNAIS, 4 (SCIENCE
PARK)
4031 ANGLEUR, BE**

72 Inventor/es:

**KUPISIEWICZ, AXEL y
MOTTAY, ERIC**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 402 267 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de marcación interna por láser en materiales transparentes

- 5 [0001] La invención se refiere a un procedimiento industrial de marcación interna por láser en materiales transparentes.
- [0002] La marcación láser es un método clave necesario para la identificación, la rastreabilidad y la lucha contra la falsificación de productos.
- 10 [0003] Para materiales transparentes, las tecnologías láser actuales (YAG ns - Granate de Itrio Aluminio) no responden a las exigencias industriales. Recientemente, una tecnología láser de laboratorio, llamada Ti:Sa basada en cristales de zafiro dopados con iones de titanio, mostró resultados prometedores para grabar materiales con pulsos femtosegundos, es decir pulsos del orden de 10^{-15} segundos, para la creación de guías de ondas, pero tiene problemas importantes para su industrialización debido a la velocidad de producción, la fiabilidad, el precio, etc., así como al período de vida de las marcaciones.
- 15 [0004] Desde los años 90, los láseres YAG se han ido utilizando cada vez más en la industria para reemplazar las etiquetas y la impresión de tinta en materiales opacos tales como metales y plásticos. Estos láseres se pueden utilizar de forma continua (CW) o de forma desencadenada (Q-Switch) para crear pulsos largos de alta frecuencia. Utilizan fenómenos térmicos para retirar materia mediante el grabado de la superficie o para cambiar el color de la superficie del material, la llamada marcación "termodirecta".
- 20 [0005] Las longitudes de onda de los láseres industriales YAG son desgraciadamente visibles o casi infrarrojas y no pueden interactuar eficazmente con los materiales transparentes para obtener fenómenos térmicos de la misma manera que sobre los materiales opacos. Por lo tanto no están adaptados para piezas transparentes.
- 25 [0006] Para grabar materiales transparentes se utilizan láseres CO2 porque su longitud de onda de 10,6µm permite la absorción de la energía sobre la superficie del vidrio.
- 30 [0007] Estos láseres tienen sin embargo los siguientes problemas importantes:
- la ablación de la materia de la superficie del material fragiliza el producto, lo que hace que no se puedan emplear en amplio abanico de aplicaciones;
 - los códigos grabados, debido a que están sobre la superficie, se pueden alterar mediante otros tratamientos durante la producción o el transporte, o borrar deliberadamente para evitar el control o la protección antifraude; y,
 - la resolución es muy baja debido a la elevada longitud de onda y a los daños térmicos, lo que hace que los códigos deban ser largos, no permitiendo de este modo códigos invisibles para aplicaciones antifraude.
- 35
- 40 [0008] A finales de los años 90, el desarrollo de los láseres YAG de pulsos cortos alrededor de 10ns permite crear microfisuras dentro de los materiales, focalizando la energía concentrada en un solo punto. Esta densidad importante de energía en un tiempo muy corto sobrepasa el umbral de daños de los materiales y lleva a la creación de microfisuras de 50 a 100µm de diámetro dentro del vidrio. Esta tecnología permite por lo tanto grabar formas 3D en vidrio o PMMA, basadas en un conjunto de microfisuras.
- 45
- [0009] Sin embargo, estos grabados resultantes muestran las siguientes limitaciones importantes para muchas aplicaciones industriales tales como la decoración de vidrio, los grabados antifraude o la marcación normativa:
- el tratamiento no es posible para materiales muy finos o sometidos a tensiones internas o externas puesto que la duración del pulso es lo bastante larga como para producir efectos térmicos y fisuras que pueden por su parte debilitar el material, algo totalmente prohibido en la industria química y farmacéutica (vidrio de clase 1) y que se debe evitar para otros continentes de vidrio, tales como frascos de perfume o botellas de vino, por ejemplo, que deben resistir fuertes tensiones de transporte, tales como variaciones de temperatura, vibraciones y choques, que llevarían a un aumento crítico de las microfisuras y probablemente a la rotura de la botella;
 - el tamaño de los grabados es bastante grande, lo que tiene como inconveniente que los códigos de barras deben ser bastante anchos, incluso algunos milímetros cuadrados, para contener informaciones legibles;
 - los contrastes de los grabados resultantes exigen, para aplicaciones antifraude y normativas, la implementación de sistemas de visualización sofisticados y una iluminación especial para leer las firmas grabadas, visto su contraste resultante limitado de menos del 30%;
 - el grabado de formas complejas exige algunos miles de "micropuntos" por cm^3 , llevando a duraciones de tratamiento de varias decenas de segundos, los láseres YAG pulsados tienen una frecuencia de pulso de entre 500 y 2000 hercios, lo que se traduce en el hecho de que la productividad de la decoración interna con estos láseres YAG es aún baja para la industria de la decoración del vidrio; y,
 - para la decoración y las aplicaciones de marcación antifraude o normativa, la calidad del grabado se ve alterada por la fluctuación de la calidad del vidrio tratado, lo que tiene como consecuencia que las interacciones láser/vidrio con tales defectos puedan llevar a marcaciones de mala calidad e ilegibles.
- 50
- 55
- 60
- 65

[0010] La siguiente tabla proporciona un resumen de las tecnologías láseres actuales.

Tecnología láser	Tipo de procedimiento	Limitaciones
CO2 cw o QCW	Grabado de superficie	Fragiliza el material, muy baja resolución, puede alterarse o borrarse
YAG cw o QCW	Grabado de superficie	No es apropiado para materiales transparentes
YAG pulsado (ns)	Grabado interno	Fragiliza el material, muy baja resolución, no lo suficientemente rápido, demasiado dependiente de la calidad del material, necesidad de un sistema de visualización muy costoso

- 5 [0011] Hasta principios de los años 90, los láseres ultrarrápidos, también llamados femtosegundos, con una duración de pulso inferior a un picosegundo, es decir 10^{-12} segundos, eran láseres de laboratorio sofisticados y frágiles que necesitaban científicos altamente cualificados para su funcionamiento.
- 10 [0012] Una primera generación de láseres comerciales ultrarrápidos, utilizando el zafiro dopado con titanio (Ti: Sapphire) como material activo, se presentó al principios de los años 90, permitiendo a otros investigadores de diferentes campos tales como la biología, la química o la espectroscopia, sacar provecho de la muy corta duración del pulso. Éstos pudieron obtener resultados innovadores, de una calidad científica elevada. Por ejemplo, el premio Nobel de química de 1999 fue concedido al Prof. Ahmed Zewail, de la universidad de Stanford, por su trabajo sobre la "femtoquímica", menos de 10 años después de que el primer láser femtosegundo se hubiera comercializado.
- 15 [0013] Esta primera generación de láseres femtosegundos, a pesar de estar perfectamente adaptada a un ambiente de investigaciones, presenta limitaciones que impiden su utilización en un ambiente industrial.
- 20 [0014] Debido a la estructura espectroscópica del Ti:Sapphire, son necesarios uno o varios láseres intermediarios adicionales en un láser femtosegundo Ti:Sapphire. Estos láseres intermediarios, sofisticados y caros, se agregan al coste global del sistema y disminuyen su fiabilidad.
- 25 [0015] Dos avances tecnológicos, particularmente la tecnología de bombeo por diodos y los nuevos materiales láser, abren la vía a una nueva generación de láseres ultrarrápidos que tienen rendimientos elevados, son más compactos, más fiables y menos caros que los láseres femtosegundos actuales.
- 30 [0016] En lo que se refiere a la tecnología del bombeo por diodos, la industria del láser ha sufrido durante aproximadamente una década una mutación tecnológica semejante al reemplazo de los tubos de vacío por semiconductores en la industria electrónica. Cualquier láser obtiene su potencia de una fuente de energía exterior. Tradicionalmente, esta fuente de energía era una bombilla flash o un tubo de vacío, relleno de un gas ionizado. La creciente disponibilidad de láseres de potencia de semiconductor (diodos láser) como fuentes de energía ofrece enormes ventajas en cuanto a tamaño, período de vida y fiabilidad. Sin embargo, estos nuevos componentes no se pueden utilizar sobre los láseres Ti:Sapphire femtosegundos, debido a las propiedades del Ti:Sapphire, cuyo cristal no tiene ninguna banda de absorción en la gama de longitudes de onda de los diodos láser de potencia. El láser
- 35 Ti:Sapphire no puede sacar provecho de la revolución del bombeo por diodos.
- [0017] En lo que se refiere a los nuevos materiales láser, los recientes avances en el crecimiento de los cristales láser han llevado a una nueva generación de cristales, utilizando el iterbio como dopante activo, que presentan una excelente calidad óptica y son completamente compatibles con los diodos láser de alta potencia tipo telecomunicaciones.
- 40 [0018] Otro material interesante que utiliza el ion iterbio es la fibra dopada con iterbio. De hecho, los amplificadores de fibra con un corazón grande permiten alcanzar rendimientos muy interesantes en el campo de la invención.
- 45 [0019] El bombeo directo de materiales dopados con iterbio por diodos abre el camino a una nueva generación de láseres ultrarrápidos, con una compacidad, una fiabilidad y una rentabilidad mejoradas.
- [0020] Las principales ventajas que esta nueva generación de láser aporta a la invención son la velocidad de tratamiento y la fiabilidad industrial.
- 50 [0021] Con respecto a la velocidad de tratamiento, los láseres femtosegundos actuales están limitados a aproximadamente 1-5 kHz. El láser utilizado en el campo de la invención, en cambio, tiene unos índices mínimos de repetición de 10 kHz, que van hasta 1 MHz. Esto se traducirá inmediatamente en velocidad de tratamiento más elevada, algo extremadamente importante para la productividad industrial.

[0022] Con respecto a la fiabilidad industrial, los láseres femtosegundos actuales (Ti:Sa) integran al menos un láser intermediario nanosegundo para el bombeo óptico, mientras que el láser utilizado en el procedimiento según la invención no necesita ningún láser adicional.

5 [0023] Otra ventaja interesante es que los diodos láser utilizados para bombear el iterbio tienen una longitud de onda de emisión alrededor de 980 nm, idéntica a la longitud de onda utilizada en las aplicaciones de telecomunicaciones ópticas. Gracias al considerable desarrollo aportado en este ámbito, ahora podemos disfrutar de una excelente fuente de diodos láser de alta potencia y de alta fiabilidad.

10 [0024] La eficacia cuántica del bombeo óptico se define como la relación entre la longitud de onda de la bomba y la longitud de onda del láser. Cuanto mayor es la eficacia cuántica, menor es el calor indeseable generado por el láser.

[0025] La siguiente tabla permite comparar la eficacia cuántica de los láseres femtosegundos actuales y de los láseres femtosegundos de iterbio.

15

	Longitud de onda de bomba	Longitud de onda láser	Eficacia cuántica
Láseres fs actuales	532 nm	800 nm	65%
Láseres fs iterbio	980 nm	1030 nm	95%

[0026] Debido a esta alta eficacia cuántica y esta pequeña cantidad de calor generada, los láseres de iterbio tienen un potencial excelente para aumentar los índices de repetición y la potencia media.

20 [0027] Finalmente, comparado con los sistemas amplificados de femtosegundos actuales, visto el pequeño número de diodos utilizados en los láseres de iterbio, los niveles de tensión y de corriente exigidos son bajos, lo que implica poca potencia de alimentación, un consumo eléctrico bajo y pequeños costes de reemplazo y de utilización.

25 [0028] Para la marcación, los láseres femtosegundos ofrecen una alternativa interesante gracias a su duración de pulso ultracorta. Su densidad óptica extremadamente elevada hace que la interacción con la muestra que se va a marcar sea muy eficaz, incluso para materiales transparentes. Su duración de pulso ultracorto evita la aparición de efectos térmicos durante la interacción, lo que hace excelente la calidad de la marcación.

30 [0029] Desde hace varios años, los láseres Ti:Sapphire femtosegundos han demostrado su capacidad para grabar dentro del vidrio para crear las guías de ondas.

[0030] También se han demostrado cambios de color en el plástico, pero no son permanentes en el vidrio.

35 [0031] El procedimiento descrito en esta patente utiliza un nuevo tipo de fuentes láser femtosegundos (bombeadas por diodos) que permiten alcanzar una productividad y una fiabilidad industrial y con una técnica especial que permite marcar directamente códigos permanentes con un fuerte contraste dentro de materiales transparentes

40 [0032] El procedimiento según la invención crea identificaciones y códigos visibles o invisibles que no se pueden modificar fácilmente o suprimir y que se crean dentro del material sin añadir compuestos especiales sobre o dentro del producto, y permite la marcación a cualquier profundidad en el material transparente, por ejemplo dentro de un substrato de vidrio o en medio de una hoja de vidrio de 6 mm, y no únicamente cerca de la superficie, y todo sin crear pequeños cambios estructurales internos tales como microablaciones o pequeñas burbujas debidas al rápido aumento de la temperatura o estructuras difusoras en forma de partes blanquecinas, y sin estar limitado a ciertos materiales tales como ciertas aplicaciones en el ámbito de la marcación de objetos hechos de materiales de resina.

45

[0033] Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento de marcación interna por láser en materiales transparentes, por ejemplo para la marcación de un identificador en un objeto de material transparente, caracterizado por el hecho de que se utiliza un dispositivo que incluye una fuente láser femtosegundo bombeada por diodos que es un amplificador regenerativo femtosegundo y no utiliza amplificación con deriva de frecuencia; una cabeza galvanométrica; una óptica de focalización y un sistema de control no agresivo para la marcación con un alto contraste para generar pulsos láser sucesivamente focalizados sobre diferentes puntos de la marcación que se va a realizar y que permite realizar marcaciones transparentes a gran velocidad, por encima de 0,1 mm² por segundo mediante modificación local del índice de refracción del material transparente, de tal manera que las modulaciones de los índices creados por autofocalización del haz son de amplitud variable según la dirección longitudinal, es decir según la dirección de propagación de los pulsos láser, de tal manera que el relleno del identificador es una estructura difractiva diferente de una red de Bragg.

55

[0034] Las velocidades de marcación obtenidas con el procedimiento según la invención son plenamente compatibles con las productividades que exigen los sectores industriales. Por ejemplo, un láser femtosegundo con una potencia media de menos de 1 vatio permite grabar códigos en 2D de 16 líneas x 16 columnas legibles por cámara en menos de 0,05s.

60

[0035] Este ritmo es típico de las necesidades de trazabilidad para el seguimiento de la producción y de los circuitos de distribución de la industria farmacéutica (producción de 20 viales por segundo). Estos ritmos típicos se pueden obtener mediante el procedimiento objeto de esta invención utilizando un láser femtosegundo bombeado por diodo, utilizando un amplificador regenerador pero no amplificación con deriva de frecuencia o amplificación parabólica.

[0036] La utilización de una fuente láser que utiliza un amplificador regenerador solo y no utiliza amplificación con deriva de frecuencia o amplificación parabólica, ambas necesitan un compresor de pulsos después de la última etapa de amplificación, permite una menor complejidad, una fiabilidad y un precio más interesante para el sector industrial, en comparación con, por ejemplo, la fuente láser descrita en la solicitud de patente US 2003/0156605.

[0037] Preferiblemente, el pulso láser femtosegundo crea una modificación del índice de refracción del material transparente en los puntos focalizados o en su periferia.

[0038] De esta manera, la presente invención soluciona los problemas de marcación interna de materiales transparentes, de manera segura y fiable, con un nuevo tipo de fuentes láser femtosegundo bombeadas por diodos mediante la creación del cambio de índice de refracción, abriendo la puerta a diseños particulares y a marcaciones de códigos de alta resolución.

[0039] Se debe señalar que la modificación del índice de refracción realizada por el procedimiento según la invención es diferente del efecto difractivo presentado en la patente US 2005/0073748.

[0040] De hecho, el efecto difractivo presentado en la patente US 2005/0073748 se explica por una modulación del índice de refracción construyendo una red de Bragg. Los inventores demuestran experimentalmente que la distribución espacial del índice de refracción está formado por una superposición de perfiles sinusoidales según la dirección transversal X. Éstos lo interpretan por la teoría simplificada de las ondas acopladas de Kogelnik. Esta presupone y sólo es válida si la modulación del índice es constante según la dirección longitudinal Z. Además, esta teoría sólo es estrictamente aplicable en este caso en redes de Bragg con una densidad de líneas más elevada que la producida normalmente con el procedimiento según la presente invención, es decir una densidad superior a 500 líneas/mm.

[0041] Las modulaciones de índice de función difractiva hechas mediante el procedimiento de la presente invención son, en cambio, de amplitud fuertemente variable según la dirección longitudinal (dirección de propagación del haz o dirección Z de la patente 2005/0073748).

[0042] Esta inhomogeneidad está particularmente reforzada por la autofocalización del haz láser, que modifica de manera espacialmente no lineal la modulación de índice en la región de focalización. Tal distribución de modulación de índice es totalmente diferente de la presentada en la patente US 2005/0073748. Entre otras cuestiones, no constituye una red de Bragg y necesita utilizar modelos de ondas acopladas rigurosas para su descripción. Estos modelos ponen además en evidencia comportamientos difractivos muy diferentes de los obtenidos mediante redes de Bragg, tales como la difracción multiorden. Esto es particularmente así para estructuras difractivas de baja frecuencia espacial como las producidas por el procedimiento según la presente invención.

[0043] El procedimiento según la presente invención difiere por lo tanto completamente del método descrito en la solicitud de patente US 2005/0073748A1. Visto el método utilizado en la US 2005/0073748, las velocidades y los tiempos de irradiación citados utilizando un láser de potencia equivalente al descrito previamente (1 vatio) conducen a tiempos de ciclo de 40 minutos para la marcación de un código de 1 mm^2 , y de 25s para la marcación de un código de $0,01 \text{ mm}^2$. Estos valores son incompatibles con las aplicaciones consideradas en nuestra patente. Gracias a nuestro procedimiento, las velocidades de marcación se mejoran en un factor superior a 1500 para los códigos milimétricos y superior a 500 para los códigos menores de $100 \times 100 \mu\text{m}$.

[0044] El láser femtosegundo bombeado por diodos utiliza preferiblemente un cristal dopado con tierras raras, por ejemplo un cristal dopado con iterbio, o es un láser de fibra, es decir, un láser cuyo corazón activo es una fibra dopada.

[0045] La invención se puede utilizar para:

- la industria de la decoración: es posible reducir el tiempo de tratamiento del vidrio a unos segundos, lo que hace que la productividad sea interesante para las industrias del perfume o de las bebidas (vinos, alcoholes,...) que representan millones de botellas decoradas al año, introduciendo conceptos de decoración innovadores que no se pueden obtener con láseres YAG (pulsos ns);
- las aplicaciones: es posible escribir códigos individuales de manera encadenada a más de 100 códigos por segundo y leer con la misma fiabilidad estas firmas invisibles pero altamente contrastadas mediante un sistema de visualización de bajo coste, tanto en líneas de producción como con nuevos lectores de mano, y es posible también incluir datos "escondidos" en decoraciones complejas asociadas a dispositivos de lectura adaptados;
- la marcación normativa: es posible escribir referencias normativas que sean independientes de la calidad del vidrio y que se puedan interpretar de forma visual o leer a través de sistemas de visualización sencillos.

Además es posible proponer una marcación directa en las industrias farmacéutica, química y de la bebida, sin modificar las propiedades mecánicas, por lo tanto sin microfisuras, para mantener la integridad del vidrio;

- en el ámbito de la marcación dentro de un sustrato en vidrio, de forma más particular en frascos, en botellas de perfume, en cristales de automóvil, en vidrio templado;
- en el ámbito de la identificación de un soporte de datos tal como CD, DVD,... mediante la utilización de un identificador que se pueda insertar en la parte transparente del soporte (centro del disco) o en el embalaje para garantizar la originalidad del soporte, el identificador puede ser una marca, un código o la mezcla de ambos.

[0046] El procedimiento según la invención permite rellenar la marcación o el identificador con una estructura difractiva, lo que tiene la ventaja de que los trayectos de la luz a través del objeto transparente se modifican pero la transparencia del objeto que se va a marcar no se elimina, al contrario de lo que ocurre con una estructura difusora como es el caso por ejemplo de la patente US2004032566.

[0047] El dispositivo que permite poner en práctica el procedimiento de la presente invención incluye un láser femtosegundo bombeado por diodos y optimizado para los grandes ritmos de las producciones industriales, éste incluye un amplificador regenerador femtosegundo y no utiliza amplificación con deriva de frecuencia, así como un dispositivo que incluye un tal láser, una cabeza galvanométrica, una óptica de focalización y un sistema de control.

[0048] Para mayor claridad, algunos ejemplos de realización de un dispositivo utilizable según la invención se describen a continuación a modo ilustrativo y no restrictivo, así como el procedimiento según la invención para la marcación interna por láser en materiales transparentes, haciendo referencia a los dibujos anexos en los cuales:

La figura 1 es una vista esquemática de una instalación láser con un láser según la invención que permite la marcación interna de un objeto transparente por láser según el procedimiento de la invención;
 la figura 2 representa un láser;
 las figuras 3 y 4 representan las variantes de láseres;
 las figuras 5 y 6 representan respectivamente las partes marcadas como F5 y F6 en la figura 4;
 las figuras 7 y 8 muestran dos motivos difractivos posibles para la marcación de un objeto;
 la figura 9 muestra ejemplos de identificadores de un objeto;

[0049] Como se representa en la figura 1, el procedimiento de la invención utiliza una instalación láser que incluye un láser femtosegundo bombeado por diodos 1, un sistema de transporte de haz 2, por ejemplo una cabeza galvanométrica, y de control del diseño grabado, un sistema óptico de focalización 3 del haz láser 4 que permite muy pequeñas aberraciones. La marcación 5 o diseño por ejemplo en forma de identificador, código, logo, decoración, se graba dentro del material transparente 6 del objeto que se va a marcar sin ninguna microfisura.

[0050] El sistema de lectura 7 leerá las informaciones de la marcación 5 o el código grabado.

[0051] Un láser femtosegundo 1 es un láser pulsado que emite pulsos muy cortos de luz. Cada pulso tiene una duración muy corta, normalmente del orden de 10 a algunas centenas de femtosegundos ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$).

[0052] La utilización de pulsos tan cortos para la marcación ofrece 2 ventajas principales:

- debido a la tan corta duración del pulso no aparece ningún efecto térmico durante el tratamiento, dando como resultado una alta calidad de marcación, sin creación de microfisuras; y
- debido a la muy alta potencia pico de los pulsos, la potencia pico siendo la relación entre la energía de un pulso y su duración, es posible alcanzar una marcación sobre o dentro de los materiales transparentes.

[0053] Como se representa en las figuras 2 y 3, hay dos métodos para producir pulsos femtosegundos de alta energía por un láser 1, es decir a partir de un oscilador femtosegundo 10 o a partir de un amplificador de femtosegundo 11.

[0054] Un oscilador láser femtosegundo 10 como el representado en la figura 2 produce normalmente una línea 12 de pulsos 13 de energías muy bajas del orden del nanojulio, pero a muy alta frecuencia, normalmente de 10 MHz a 100 MHz. Un oscilador femtosegundo 10 incluye fuentes de bombeo láser 14 y un medio activo (cristal, vidrio, fibra), un resonador y una parte osciladora 10A para generar los pulsos 13 femtosegundos. Tales osciladores 10 pueden producir pulsos con energías que van hasta 500 nJ, lo que puede ser suficiente para algunas aplicaciones.

[0055] Se utiliza un amplificador láser 11 como el representado en la figura 3 si la energía de pulso 13 es insuficiente para una aplicación particular e incluye una parte osciladora 11A seguida de una parte amplificadora 11B y permite la amplificación del pulso. Sin embargo, la amplificación directa de pulsos femtosegundos 13 no siempre es sencilla. Durante la amplificación, la potencia pico del pulso amplificado puede hacerse bastante fuerte como para causar daños ópticos en los componentes del amplificador.

[0056] En tal caso, se puede utilizar un amplificador 11 basado en la técnica llamada con deriva de frecuencia (Chirped Pulse Amplification o CPA) que es una técnica bien conocida que se describe, por ejemplo, en el artículo de

Galvanauskas et al., Optics Letters 26, p. 935 (2001) y que se utiliza para reducir la potencia pico dentro del amplificador. Es un procedimiento en tres etapas que se ilustra en la figura 4:

- la duración del pulso 13 que proviene de la parte osciladora 11A se aumenta en un expansor de pulso 15, reduciéndose de este modo la potencia pico del pulso 13;
- el pulso 13 se amplifica en la parte amplificadora 11B sin aparición de daños gracias a la potencia pico reducida; y,
- una vez pasados todos los componentes sensibles, la duración del pulso 13 vuelve a su valor inicial en un compresor de pulso 16.

[0057] Estos amplificadores 11 típicos pueden aumentar la energía de pulso de 4 a 6 órdenes de magnitud. Sin embargo, amplificar a tales niveles de energía conservando simultáneamente un fuerte índice de repetición de la parte osciladora 11A daría como resultado potencias medias imposibles de controlar. Solamente un pulso 13 de la parte osciladora 11A se selecciona mediante un conmutador óptico 17 para la amplificación, dando como resultado un descenso de los índices de repetición. El esquema típico de un láser femtosegundo amplificado con deriva de frecuencia se ilustra en la figura 4. Las diferentes etapas de la generación de pulsos femtosegundos por estos tipos de láser son:

- el oscilador láser 11A transmite una sucesión de pulsos 13 cortos de baja energía;
- la duración de pulso se aumenta en el expansor de pulso 15;
- el conmutador óptico 16 extrae un pulso 13 único;
- la energía del pulso se aumenta en el amplificador 11B;
- el conmutador óptico 16 extrae del amplificador 11B el pulso de alta energía; y finalmente,
- la duración del pulso se reduce en un compresor de pulso 16.

[0058] En una configuración típica, el oscilador 10 y el amplificador 11 utilizan a la vez materiales o cristales dopados con iterbio como componente activo. Materiales alternativos se dopan con neodimio u otras tierras raras.

[0059] Igualmente, de forma típica, el conmutador óptico 17 es un conmutador electroóptico que utiliza una célula de Pockels. En configuraciones alternativas, el conmutador óptico 17 es un conmutador acustoóptico que utiliza un modulador acustoóptico.

[0060] Las características típicas del haz láser 4 generado por el amplificador 11 son:

- la duración del pulso es inferior a 3 ps, por ejemplo 500 femtosegundos;
- la energía del pulso es superior a 1 μ J, por ejemplo 10 μ J;
- un índice de repetición superior a 10 kHz; y
- una calidad de haz según la norma TEM₀₀.

[0061] La ampliación de pulsos saca ventaja del hecho de que un pulso femtosegundo tiene un espectro intrínsecamente amplio.

[0062] La duración de pulso ΔT y la amplitud Δv de su espectro están relacionadas por la ecuación $\Delta T \cdot \Delta v > k$, donde k es una constante que depende de la forma temporal del pulso.

[0063] La figura 5 muestra el principio de funcionamiento de un expansor de pulso 15. La figura se presenta como ilustración solamente y no es necesariamente el diseño real utilizado en el sistema. En esta figura, el expansor de pulsos 15 incorpora dos redes de difracción, donde cada componente espectral del pulso femtosegundo 13 sigue un camino óptico diferente, respectivamente 18 y 19.

[0064] El camino óptico 18 visto por una longitud de onda corta, que a menudo se llama la parte "azul" del espectro, es más largo que el camino óptico 19 visto por una longitud de onda mayor, llamada parte "roja" del espectro. La parte "azul" se retrasa de este modo en el expansor de pulsos 15.

[0065] Tras salir del expansor 15, los diferentes componentes espectrales sufren una deriva.

[0066] Se debe señalar que los términos "azul" y "rojo" no se deben entender literalmente, la amplitud espectral de los pulsos femtosegundo son del orden de algunos nanómetros, lo que está lejos de cubrir el espectro visible.

[0067] Como se representa en la figura 6, el amplificador láser 11 es un amplificador regenerador, está compuesto por un resonador láser 20, en el que se propaga un pulso 13 temporalmente ampliado que proviene de la parte osciladora 11A.

[0068] Un módulo de conmutación 21 de célula de Pockels atrapa un pulso 13 único proveniente de la parte osciladora 11A en el amplificador 11. Este pulso 13 se amplifica a continuación por idas y vueltas sucesivas en el amplificador láser 15, contrariamente a un amplificador sencillo en el que sólo hay un solo paso del pulso.

[0069] Una vez que el pulso amplificado ha alcanzado el nivel de energía deseado, se extrae del resonador por el mismo conmutador 21 de célula de Pockels.

5 [0070] Un dispositivo de enrutamiento óptico que utiliza un rotador Faraday 22 envía a continuación el pulso de salida al compresor de pulso 16.

[0071] Las principales ventajas de la amplificación regeneradora son una relación de amplificación elevada (normalmente superior a 6 órdenes de magnitud), así como una calidad de haz excelente (haz gaussiano TEM₀₀).

10 [0072] El compresor de pulsos 16 restablece la duración del pulso amplificado a su valor inicial. Su principio es similar al del expansor de pulso 15, exceptuando que en tal caso, la parte "azul" del espectro ve un camino óptico más corto que la parte "roja".

15 [0073] La invención excluye la utilización de la técnica de amplificación con deriva de frecuencia, porque es preferible no aplicar esta técnica para evitar la utilización de un expansor y/o de un compresor de pulso como en el caso por ejemplo de la solicitud de la patente US2003/0156605A1 con una fuente láser que no utiliza amplificador regenerador, sino que utiliza bien amplificación con deriva de frecuencia bien amplificación parabólica, ambas requieren un compresor después de la última etapa de amplificación.

20 [0074] De hecho, la generación de altas potencias pico está limitada por los daños inducidos por la alta potencia y la utilización de la amplificación con deriva de frecuencia permite rechazar esta limitación, pero tiene algunos inconvenientes en el diseño del sistema, es decir que el expansor y el compresor de pulsos hacen el sistema más complejo y además, la eficacia típica de un compresor es solamente del orden de 50 a 60%, lo que reduce significativamente la eficacia total del sistema.

25 [0075] Antes de que aparezcan los daños ópticos, la primera limitación se debe a los efectos no lineales en los componentes ópticos del amplificador. Estos efectos, y más particularmente la automodulación de fase (Self- Phase Modulation o SPM), acarrearán una ampliación espectral y espacial de un pulso óptico ultracorto debido a la dependencia temporal del desfase no lineal de fase, que es una consecuencia de la dependencia de la intensidad del índice de refracción.

30 [0076] La automodulación de fase es proporcional a la potencia pico del pulso, e inversamente proporcional al tamaño del haz de los componentes ópticos.

35 [0077] De este modo, en una configuración típica, la fuente láser 1 utilizada será especialmente optimizada para la marcación interna a gran velocidad, es decir que:

- la energía por pulso 13 es suficientemente elevada para permitir una marcación eficaz, pero suficientemente baja para no requerir un expansor 15 y un compresor de pulso 16;
- el índice de repetición es elevado (> 100 kHz) para garantizar una velocidad de tratamiento elevada; y,
- el láser 1 es un láser femtosegundo bombeado por diodos, y se beneficia de este modo de todas las ventajas descritas en los párrafos precedentes.

40 [0078] En esta configuración, el láser 1 estará compuesto por lo tanto de:

- un oscilador femtosegundo, que libera una sucesión de pulsos de alta energía y de corta duración, a un índice de repetición elevado;
- un amplificador regenerador, que utiliza un conmutador óptico 17 para seleccionar un solo pulso 13 proveniente del oscilador, enviarlo al amplificador y extraerlo de él una vez se haya realizado la amplificación; y,
- un enrutador óptico, que garantiza que el pulso 13 proveniente del oscilador y que va al amplificador y el pulso proveniente del amplificador no siguen el mismo camino.

45 [0079] En esta configuración típica, el amplificador acepta directamente un pulso del oscilador, es decir un pulso no estirado temporalmente en un expansor de pulso 15.

50 [0080] El diseño del láser amplificado, que permite una amplificación directa sin necesidad de una amplificación con deriva de frecuencia, se basa en tres puntos:

- minimizar el número de componentes ópticos en el camino óptico del haz, siendo los únicos componentes que contribuyen significativamente a la SPM las células de Pockels y el cristal láser de la realización descrita antes;
- minimizar la longitud óptica del sistema, por ejemplo eligiendo los componentes con una longitud lo más pequeña posible;
- maximizar el tamaño del haz en los componentes ópticos.

55 [0081] Estas etapas no son evidentes y requieren un diseño especial: la reducción de la longitud del cristal está contrarrestada por la eficacia del sistema, por ejemplo.

[0082] Según la invención, el láser 1 es por lo tanto un láser femtosegundo bombeado por diodo que es un amplificador que no utiliza amplificación con deriva de frecuencia.

5 [0083] El procedimiento para la marcación interna por láser en los materiales transparentes se ilustra en la figura 1.

[0084] La marcación 5 en forma de diseño o de código es dada mediante el ordenador de control 8 o una interfaz conectada a una base de datos o un sistema ERP 9.

10 [0085] El láser 1 rellena el diseño (matriz de datos, número de serie, logo) como se representa en las figuras 7 y 8, con una serie de puntos 23 o de líneas 24 respectivamente, o a través de dibujos o formas repetitivas, por focalización del haz 4 dentro del material 6, la profundidad la elige el operador o el mismo sistema gracias a un dispositivo de medida de distancia.

15 [0086] Los puntos 23 están definidos por uno o varios pulsos del láser, las características de la líneas 24 están definidas por la velocidad (a un índice de repetición fijado) del láser 1, por lo tanto por un número de pulsos por línea 24.

[0087] Se controla la distancia entre los puntos 23 para obtener códigos visibles o invisibles, pero con un fuerte contraste para un sistema de lectura o de visualización 7.

20 [0088] En función de la longitud de onda y de la difracción angular necesaria para el sistema de visualización 7, se elige un paso en la gama del espectro de longitudes de onda del lector del sistema de visualización que está normalmente situado entre 0,5 y 10µm. Las marcaciones o códigos 5 se pueden controlar después del tratamiento mediante un sistema de visualización 7 con o sin iluminación especial. Las marcaciones 5 o códigos pueden releerse mediante una cámara fija o un sistema de visualización o por un lector manual.

[0089] El efecto del pulso láser es un cambio de índice localizado, que permite crear una estructura difractiva interna.

30 [0090] La energía, la densidad de energía y el número de pulsos se optimizan para obtener marcaciones o códigos 5 permanentes.

[0091] El tamaño del foco está comprendido entre 1 y 10 µm, lo que permite una extrema precisión. Sólo es visible un solo punto 23, pero el conjunto de puntos o líneas y el motivo repetitivo acarrea un diseño absorbente o una estructura difractiva.

35 [0092] Para obtener un fuerte contraste, los puntos 23 o líneas 24 describen un motivo repetitivo y están preferiblemente separados por una distancia de entre 0,5 y 10µm. En tal caso, la luz será difractada, los códigos 5 tendrán diferentes colores según el ángulo de visión, y con la iluminación apropiada, los códigos serán muy contrastados, llegando hasta más del 75% (Grado A AIM).

40 [0093] Los códigos 5 pueden ser tan pequeños que no puedan verse a simple vista sin microscopio. Los códigos 5 pueden igualmente ser invisibles a la luz del día pero visibles a una longitud de onda apropiada con un sistema de visualización 7 con una cámara sensible a esta longitud de onda, proporcionando una firma antifraude.

45 [0094] Una matriz 2D 16 x 16 no debe ser mayor de 60 x 60 µm, proporcionando una cantidad enorme de datos (16 caracteres alfanuméricos - 10²⁴ referencias) y que se pueden leer.

[0095] La alta frecuencia de los láseres bombeados por diodo permite hacer códigos legibles permanentes en menos de 0,05 segundos, la limitación se debe al tiempo de cálculo de los ordenadores.

50 [0096] De este modo, se puede por ejemplo grabar un identificador (5) en forma de matriz de datos 2D legible de un tamaño inferior a 0,4 x 0,4 mm en menos de 0,2 segundos.

[0097] Como se representa en la figura 9, las marcaciones 5 grabadas pueden ser logos, textos, números de serie, matrices 2D, por ejemplo matrices de datos, códigos de barras, códigos especiales antifraude, tales como códigos Kezzler, o una mezcla de decoración y de códigos.

60 [0098] El código se puede incrementar automáticamente mediante el sistema o se puede relacionar con un sistema de control externo que le permita una gestión de estos datos. La información decodificada puede proporcionar una información directamente utilizable, por ejemplo una fecha de caducidad, o por medio de una solicitud en la base de datos interna de la empresa o un banco de datos centralizado general para los códigos antifalsificación.

[0099] Los códigos pueden tener dimensiones de solamente algunas decenas de micrones. Pueden estar muy contrastados, por ejemplo entre 60 y 80% Grado A AIM para un sistema de visualización.

65

[0100] La extrema precisión del procedimiento permite tener diferentes niveles de seguridad: se puede marcar un código normativo visible y una matriz de datos invisible a la vez.

5 [0101] Un código visible marcado por un procedimiento según la invención puede incluir otras informaciones concebidas para el peritaje antifraude utilizando por ejemplo un píxel del código normativo como código matriz de datos legible únicamente mediante un sistema de visualización apropiado (peritaje óptico) o mediante la utilización de bits disponibles y no utilizados del código (peritaje por utilización de un software de descryptación dedicado).

10 [0102] Se pueden insertar matrices de datos antifraude en un logo, por ejemplo, o éstas pueden formar parte de un nombre comercial o de una marca registrada.

15 [0103] Los códigos o los logos pueden tener efectos sorprendentes tales como ser invisibles excepto para un solo ángulo de visión, cambiar de color en función del ángulo de visión o ser visibles solamente con una iluminación apropiada. Para incrementar de nuevo la seguridad, el ángulo de visión que permite la lectura del identificador puede ser claramente modificado.

[0104] Las informaciones de una matriz de datos pueden ser un código Kezzler en forma de una serie de 16 caracteres alfanuméricos, proporcionando una protección antifraude, óptica y digital (por software).

20 [0105] Las informaciones incluidas en una matriz de datos pueden leerse mediante un lector estándar e incluir igualmente algunas informaciones escondidas para un lector estándar gracias a los bits no utilizados de la matriz de datos, estas informaciones escondidas pudiéndose leer solamente con una clave de software apropiada.

25 [0106] El aspecto contra falsificación se puede obtener mediante la presencia del logo o de la marca, el aspecto estético del identificador, la codificación, la información visible o invisible asociada o no a un software especial de descryptación, o una mezcla de estas técnicas que haga económicamente inviable la copia.

30 [0107] El código normativo (visible) puede contener diferentes niveles de información, por ejemplo, el código 050904-33245656-3-4 contiene:

- datos destinados al usuario final, una fecha de caducidad, por ejemplo 4 de septiembre de 2005 (050904);
- datos destinados a la gestión de la producción 33245656 puede ser un código individual o un número de lote ligado a un banco de datos que permita controlar los diferentes parámetros utilizados para la producción del producto marcado;
- 35 • un dato (3-4) destinado al peritaje contra falsificación directamente explotable por expertos, bien mediante un software apropiado, bien porque define la posición x=3, y=4 de un código antifraude invisible realizado por el mismo procedimiento y concebido para la gestión de la lucha contra la falsificación o de los circuitos de distribución.

40 [0108] Los identificadores 5 pueden crearse a diferentes profundidades, se pueden marcar varios códigos pero a diferentes profundidades, haciendo casi imposible la posibilidad de suprimirlos.

[0109] Un ejemplo de un sistema de lectura 7 incluye una cámara, un objetivo y una iluminación.

45 [0110] La mejor elección para leer los códigos grabados absorbentes es una iluminación de campo brillante sobre un fondo claro (white field) y la mejor elección para leer los códigos difractivos 5 es una iluminación con fondo negro (dark field).

50 [0111] Es posible utilizar sistemas de lectura o de visualización 7 fijos o manuales. Los códigos 5 pueden detectarse igualmente utilizando una cámara Web y analizándose después con un software de visualización.

[0112] La lectura se puede efectuar en línea para verificar los códigos grabados 5 en cualquier etapa de la producción o en un laboratorio para un peritaje futuro del producto.

55 [0113] Gracias al procedimiento según la invención, se puede alcanzar un contraste del 75% (grado A - AIM: Automatic Identification Manufacturers, estándar para las matrices de datos definidas en ISO/IEC18022).

[0114] El código puede ser una serie especial de caracteres alfanuméricos registrados en un banco de datos.

60 [0115] Es obvio que la invención no se limita en modo alguno a los ejemplos descritos anteriormente, sino que se pueden hacer numerosas modificaciones en el procedimiento y en el láser descritos anteriormente sin apartarse del ámbito de la invención tal y como se define en las reivindicaciones siguientes.

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de marcación interna por láser en materiales transparentes, por ejemplo para la marcación de un identificador (5) en un objeto hecho de material transparente (6), **caracterizado por el hecho de que** se utiliza un dispositivo que incluye una fuente láser femtosegundo bombeada por diodos (1) que es un amplificador regenerador femtosegundo y no utiliza amplificación con deriva de frecuencia; una cabeza galvanométrica (2); una óptica de focalización (3) y un sistema de control (8) para la marcación no agresiva con un alto contraste para generar pulsos láser (13) sucesivamente focalizados sobre diferentes puntos (23) de la marcación (5) que se va a realizar para crear marcaciones transparentes a gran velocidad, es decir, por encima de 0,1 mm² por segundo mediante la modificación local del índice de refracción del material transparente (6), de tal manera que las modulaciones de índices creadas por el efecto de la autofocalización del haz sean de amplitud variable según la dirección longitudinal, es decir según la dirección de propagación de los pulsos láser, creando una estructura difractiva de tal manera que el relleno del identificador (5) sea una estructura difractiva que no sea una red de Bragg.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** la fuente láser utilizada permite una velocidad de marcación superior a 1 mm² por segundo.
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el láser femtosegundo bombeado por diodos (1) utiliza un cristal dopado con iterbio.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el láser femtosegundo bombeado por diodos (1) es un láser de fibra, es decir, cuyo corazón activo es una fibra dopada.
- 25 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el láser femtosegundo bombeado por diodos (1) tiene unos índices de repetición superiores a 10 kHz, preferiblemente superiores a 100 kHz.
- 30 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes **caracterizado por el hecho de que** el láser femtosegundo bombeado por diodos (1) tiene una duración de pulso inferior a 3 ps.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el láser femtosegundo bombeado por diodos (1) tiene una energía por pulso superior a 3 μJ.
- 35 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) es de un tamaño muy pequeño, normalmente inferior a 120 μm, y por lo tanto invisible al ojo humano.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** la marcación (5) es fácilmente legible mediante un sistema de lectura o de visualización (7) estándar.
- 40 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5), por ejemplo una matriz de datos 2D de 16 líneas x 16 columnas, es aún menor de 60 x 60 μm.
- 45 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se graba en menos de 0,05 segundos.
12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5), por ejemplo una matriz de datos 2D legible de un tamaño inferior a 0,4 x 0,4 mm se graba en menos de 0,2 segundos.
- 50 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) puede alcanzar un contraste del 70% (grado A - AIM).
14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) está lleno de líneas o de puntos separados entre sí por una distancia del orden del espectro de longitud de onda del lector, como un sistema de lectura (7) o el ojo de un observador.
- 55 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) incluye una parte normativa (25) y una parte antifraude (26).
- 60 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) está incluido en un diseño decorativo (29).
- 65 17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** algunos bits (26) de los códigos de identificación definen la posición de un código antifraude invisible realizado por el mismo procedimiento.

18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se marca dentro de un substrato de vidrio.
- 5 19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se marca en frascos.
20. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se marca en botellas de perfume.
- 10 21. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se marca en cristales de vehículos.
22. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se marca en vidrio templado.
- 15 23. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) está integrado para ser parte integrante de un nombre comercial o de una marca registrada.
- 20 24. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** se coloca más de un identificador (5) al lado de otro pero a diferentes profundidades.
- 25 25. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el ángulo de visión que permite la lectura del identificador (5) puede ser claramente modificado para incrementar más la seguridad.
26. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el identificador (5) se marca dentro de un soporte de datos, tal como un CD, DVD,..., o dentro de su embalaje.
- 30 27. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** utiliza un sistema de visualización (7) para verificar los códigos y una iluminación adaptada (32).
28. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** se utiliza para crear un código concebido para la lucha contra la falsificación.
- 35 29. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** se utiliza para crear un código concebido para el control de los circuitos de distribución.

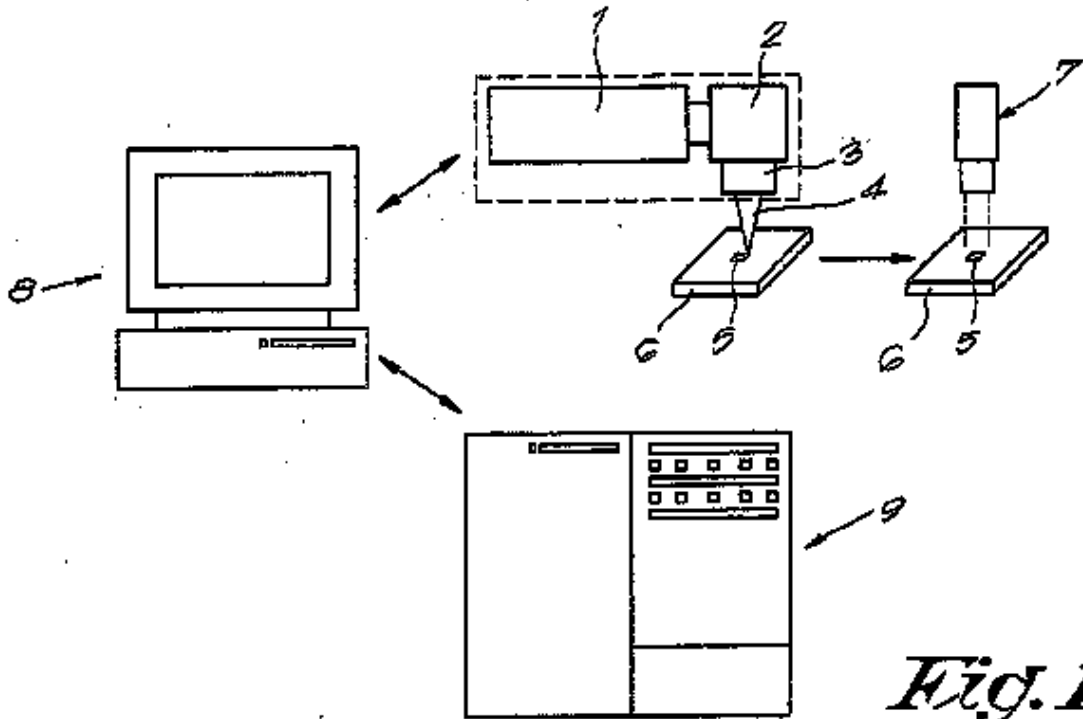


Fig. 1

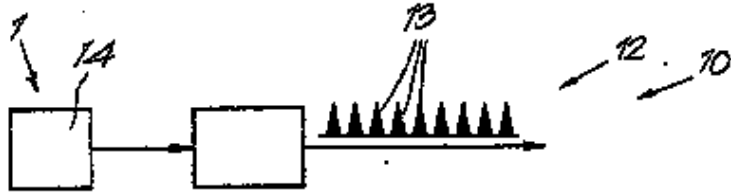


Fig. 2



Fig. 3

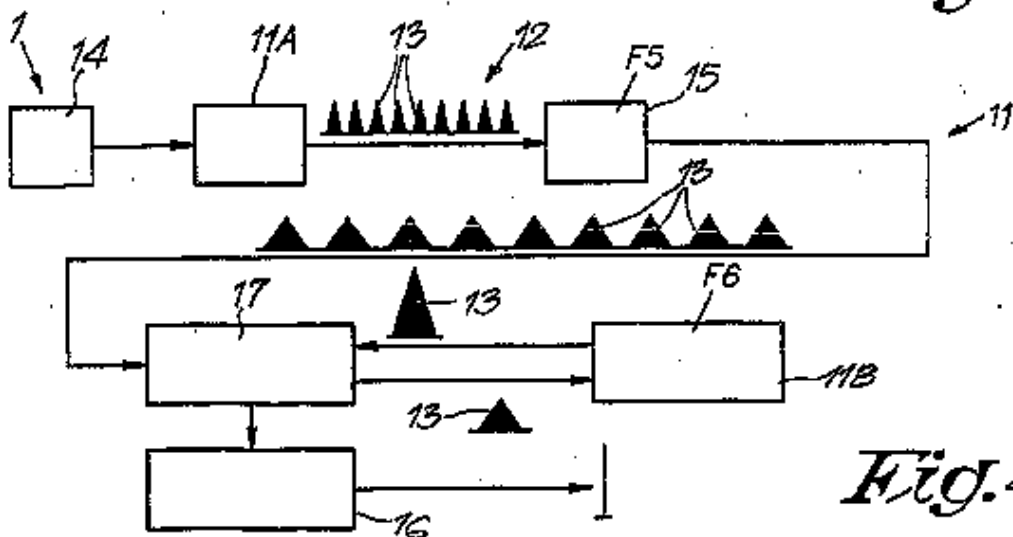


Fig. 4

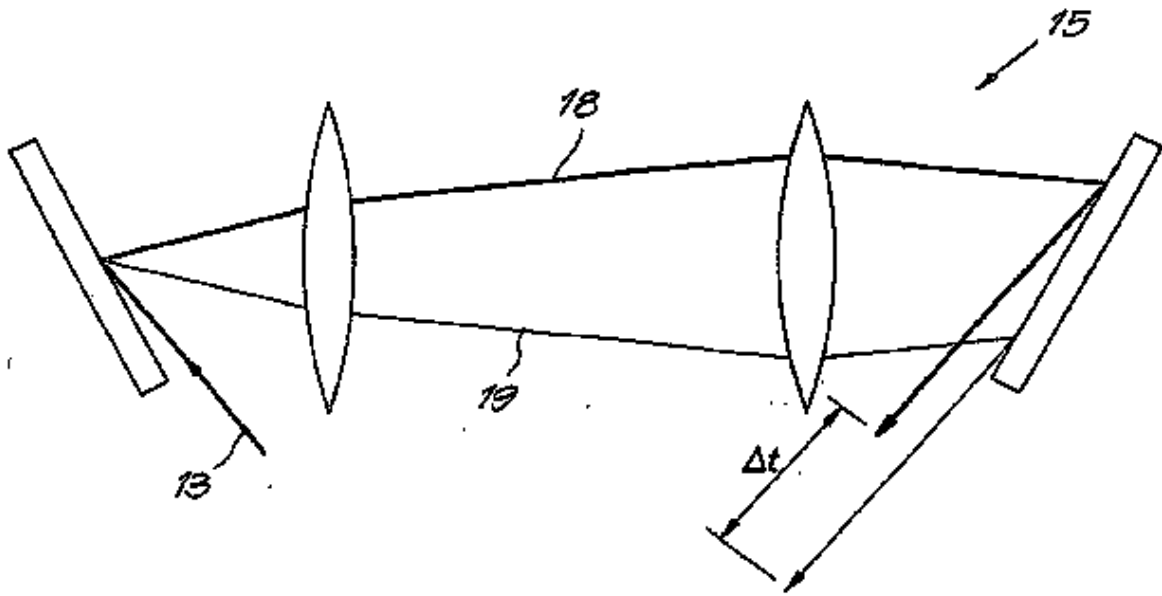


Fig. 5

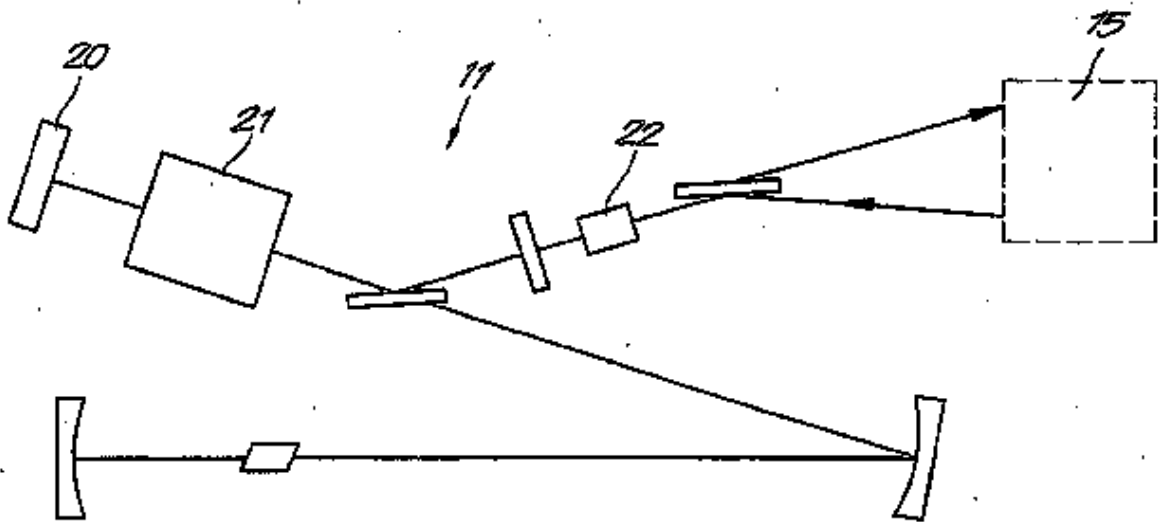


Fig. 6

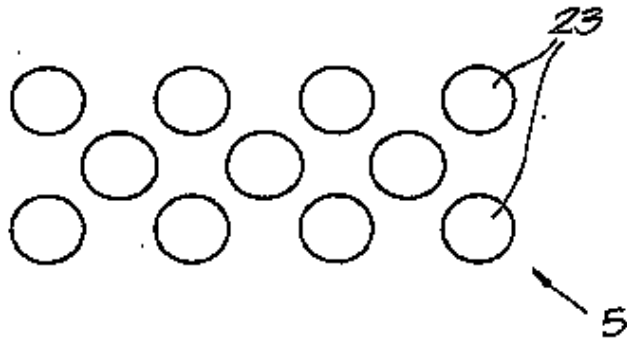


Fig.7

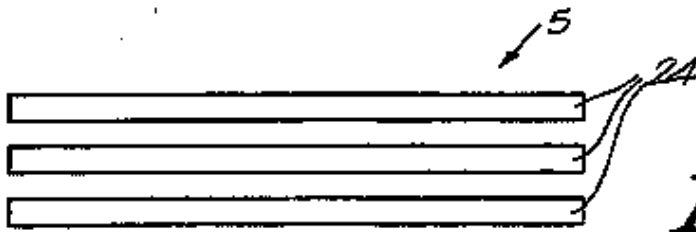


Fig.8

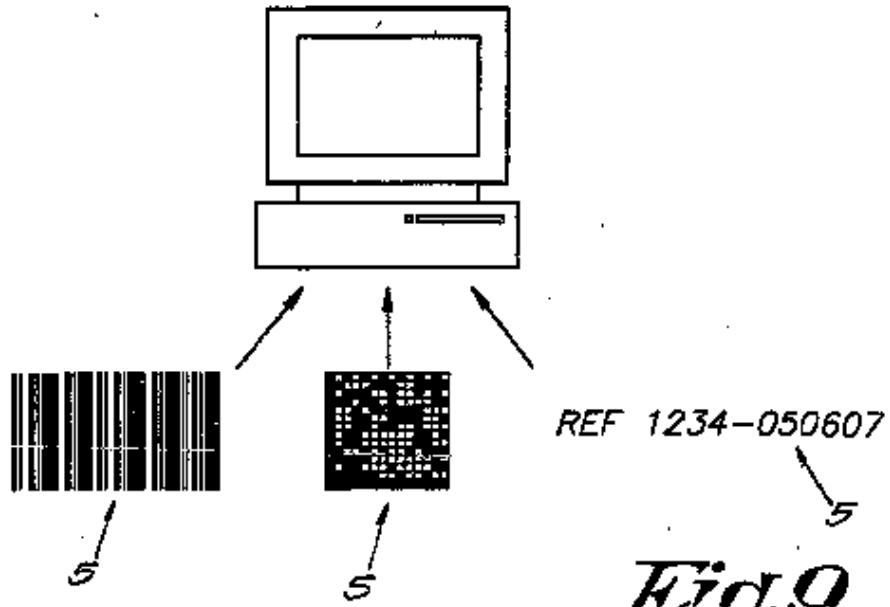


Fig.9