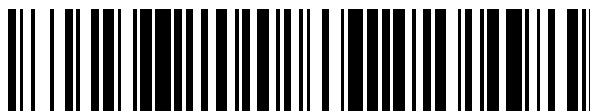


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 335**

51 Int. Cl.:

**H01S 3/11** (2006.01)

**G21K 1/06** (2006.01)

**G21K 1/00** (2006.01)

**H01J 35/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2009 E 09290857 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.09.2014 EP 2320528**

54 Título: **Fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía y procedimiento de generación de un pulso corto de fotones de alta energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.12.2014**

73 Titular/es:

**ECOLE POLYTECHNIQUE (100.0%)  
Route de Saclay  
91120 Palaiseau, FR**

72 Inventor/es:

**MALKA, VICTOR;  
FAURE, JEROME;  
BEN-ISMAIL, AHMED y  
LEFEBVRE, ERIK**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 525 335 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

Fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía y procedimiento de generación de un pulso corto de fotones de alta energía

5 La invención se refiere en general a una fuente y a un procedimiento para generar pulsos cortos de fotones de alta energía, con un sistema láser que produce pulsos láser con una longitud de pulso más corta que 200 fs (femtosegundos) y capaz de ser enfocados para alcanzar intensidades mayores de  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup> (vatios por centímetro cuadrado), una primera diana capaz de liberar un pulso de electrones de alta energía tras la irradiación con al menos uno de dichos pulsos láser, y una segunda diana capaz de liberar un pulso corto de fotones de alta energía al ser golpeada por dicho pulso de electrones de alta energía.

15 Al focalizar un pulso láser ultraintenso y ultracorto sobre una diana de material bajo ciertas condiciones, puede producirse un plasma muy poco denso. Es entonces posible generar un campo eléctrico muy fuerte, más de unos pocos cientos de GV/m (gigavoltios por metro), capaz de acelerar partículas, en particular electrones, a partir del plasma a altas energías y en un haz colimado y pulsado en una escala de longitud muy corta en comparación con los aceleradores de partículas convencionales, tales como ciclotrones o similares. Básicamente, en respuesta al potente pulso láser que incide, los electrones son acelerados a energías relativistas y son expulsados del plasma. Entre los diferentes mecanismos de aceleración impulsada por láser de la técnica anterior (por ejemplo, la aceleración láser directa, la aceleración de onda de latido de plasma, o la aceleración wakefield láser automodulada), el comportamiento no lineal de las ondas de plasma en el régimen de wakefield láser forzado impulsa la generación de haces de electrones de alta energía y baja emitancia.

25 El interés en estas fuentes de electrones de pulsos cortos que tienen diámetros comparables a la cintura del haz láser, en particular, sólo varias decenas de  $\mu$ m (micrómetros), ha crecido en los últimos años especialmente en vista de las aplicaciones médicas y/o radiológicas. Por un lado, los electrones acelerados son frecuentemente usados en la radioterapia directamente para el tratamiento del cáncer mediante la exposición del tejido canceroso al flujo de partículas. Por otro lado, los electrones de alta energía pueden inducir interacciones electromagnéticas. Por tanto, pueden ser usados para crear fotones de longitud de onda corta, por ejemplo UV, rayos x, o incluso en el rango de  $\gamma$ , que puede servir para imágenes en medicina nuclear, diagnóstico médico o radiología. Los fotones también se pueden usar para la inspección no destructiva o mecánica de un material.

35 En el documento US 6.333.966 B1 se divulga una fuente de rayos X con acelerador láser de femtosegundos. Los electrones son acelerados a cientos de kiloelectronvoltios (keV) a decenas de megaelectronvoltios (MeV) usando alta energía, pulsos láser de femtosegundos de duración, y luego se convierten a rayos X por uno de varios procesos físicos en una lámina de un convertidor de material de alto Z. Debido a que los electrones acelerados por láser tienen el ancho de pulso del controlador de láser, extremadamente corto, por ejemplo pueden ser producidos menos de 100 pulsos de rayos X de femtosegundos (fs) a partir de estos electrones. Se recomienda usar un grosor de convertidor de aluminio de un tercio del rango de electrones del material y respaldar el convertidor con una lámina delgada de baja Z para detener el haz de electrones sin atenuar severamente las radiografías.

45 En el documento Physical Review Letters 94,025003 (2005), titulado "High-resolution  $\gamma$ -ray radiography produced by a laser-plasma driven electron source" se usa un haz de pulsos cortos de electrones desde un acelerador de plasma láser para crear un haz de pulsos cortos de fotones y por la interacción radiación de frenado en un material denso que contiene tantalio. El haz de fotones y tiene un tamaño compacto, en particular, una anchura lateral, mucho más pequeña que las fuentes ordinarias de fotones de alta energía y su duración de pulso es más corta que 1 ps (picosegundos).

50 En el documento "Physics in Medicine and Biology" 29, 797-810, titulado "Angular distribution and yield from bremsstrahlung targets" se informa la comparación de una predicción teórica de las distribuciones angulares y los rendimientos de la radiación de frenado a las medidas experimentales. Se recomienda en este documento que el espesor de la diana debe ser menor que el rango de electrones  $r_0$  debido a la libre atenuación en la diana.

55 Aunque el tamaño del haz de electrones de pulso corto es comparable a o menor que la cintura del haz láser, el haz de fotones y todavía tiene una extensión lateral de varios cientos de  $\mu$ m (micrómetros). En otras palabras, el tamaño de la fuente eficaz es aproximadamente de un orden de magnitud más grande que el tamaño de la fuente efectiva de los electrones. Mientras que obviamente la pequeña, pero no nula divergencia del haz de electrones, por ejemplo, típicamente 1 grado para la anchura total a media altura, puede conducir a una propagación si la interacción con el material denso tiene lugar a una larga distancia desde la fuente de electrones eficaz, hay efectos degradantes adicionales debido al transporte y/o desviación de electrones durante la interacción de radiación de frenado en el material denso, con la consecuencia de que el tamaño de la fuente efectiva se incrementa.

60 El problema técnico a resolver es el de reducir el tamaño de la fuente efectiva de los pulsos cortos de fotones de alta energía.

65

Este problema se resuelve mediante una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía con las limitaciones de acuerdo con la reivindicación 1 y/o mediante un procedimiento para generar pulsos cortos de fotones de alta energía con las limitaciones de acuerdo con la reivindicación 13. Otras mejoras y realizaciones ventajosas y perfeccionamientos se definen por las limitaciones establecidas en las reivindicaciones dependientes.

5 Según la invención, se proporciona una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía que comprende un sistema láser que produce pulsos láser con una longitud de pulso más corta que 200 fs (femtosegundos), se prefieren más cortos que 100 fs o incluso 70 fs, especialmente más cortos que o igual a 50 o incluso 30 fs, y capaz de ser enfocados para alcanzar intensidades mayores de  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>, preferentemente mayores de  $10^{19}$  o incluso  $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup> (vatios por centímetro cuadrado), siendo una primera diana capaz de liberar un pulso de electrones de alta energía tras la irradiación con al menos uno de dichos pulsos láser y una segunda diana capaz de liberar un pulso corto de fotones de alta energía cuando es golpeado por el mencionado pulso de electrón de alta energía, por lo que el espesor de la segunda diana es menor que o igual a, preferentemente esencialmente igual a, una longitud de saturación del endurecimiento del haz de dichos fotones de alta energía en la segunda diana.

15 El término técnico "endurecimiento del haz" denota el efecto físico en que el máximo de una distribución de energía de radiación de frenado se desplaza a energías más altas cuando la radiación de frenado está viajando a través de un material de alto Z. Preferiblemente, el láser se enfoca sobre la primera diana. En particular, el pulso de electrones se colima con una pequeña emitancia o divergencia. Como una medida de la energía de los fotones de alta energía emitidos que tienen una cierta distribución de energía, se pueden atribuir un valor de temperatura o un valor medio. La anchura lateral se define como la anchura en dirección lateral, por ejemplo, en el plano perpendicular a la dirección de propagación, del pulso entre los puntos que tienen menos de 0,2 % de la máxima densidad de electrones en el pulso. La anchura lateral de la segunda diana es menor que la anchura total a media altura (FWHM) en dirección lateral de dicho pulso de electrones de alta energía que incide sobre la segunda diana. En particular, dicha anchura lateral de la segunda diana puede ser igual o menor que 1,0 mm. El punto focal o cintura del láser preferentemente es del orden de la longitud de onda de plasma de la primera diana.

20 Sorprendentemente, se encontró que con el aumento de espesor de la segunda diana la energía de los fotones de alta energía emitidos aumentaba fuertemente hasta alcanzar un máximo en un cierto valor del espesor y luego disminuía de forma relativamente lenta más allá de dicho máximo. En otras palabras, por una parte, hay una profundidad de saturación o la longitud de saturación para la energía máxima alcanzable. Por otra parte, también se determinó que la divergencia angular de los fotones de alta energía emitidos aumenta monótonicamente con el espesor que aumenta de la segunda diana. A fin de minimizar dicho efecto físico, el espesor debe ser mínimo. A fin de maximizar la energía prestada por los fotones, de acuerdo con la invención el endurecimiento del haz se explota sin comprometer la divergencia del pulso de fotones de alta energía creado. La longitud de saturación para el endurecimiento del haz es significativamente más corta que la longitud de la eficiencia de conversión máxima.

30 Ventajosamente, la fuente produce un aumento de la energía alcanzable (disminución de la longitud de onda alcanzable) de los fotones creados. Los fotones creados tienen una longitud de onda corta, por ejemplo son UV, rayos X o fotones en el rango  $\gamma$ . En particular, el valor de la temperatura de los fotones creados puede estar por encima de 15 MeV, preferiblemente por encima de 18 MeV.

45 En una realización preferida, el sistema láser de la fuente de acuerdo con la invención es una instalación de amplificación de pulso por modulación de frecuencia (CPA, chirped pulse amplification), en particular un sistema láser de doble-CPA, de un láser de zafiro:Ti de modo auto bloqueo con una mayor energía de salida de 1,6 J (0,6 J en el blanco), la potencia de salida superior a 20 TW, especialmente mayor de 100 TW, y puede tener una tasa de repetición superior a 5 Hz, preferiblemente en especial igual o superior a 10 Hz, siendo el láser capaz de emitir láser de pulsos más cortos de 40 fs, preferiblemente más cortos que o igual a 30 fs.

50 Se prefiere que la segunda diana esté dispuesta directamente corriente abajo o casi contigua desde la primera diana, en particular, sin perturbar la primera diana. En particular, no está presente una óptica electrónica presente o se usa entre la primera diana y la segunda diana. En otras palabras, la segunda diana es directamente golpeada por los electrones creados en la primera diana. Los electrones llegan a la segunda diana, sin la interacción de manipulación o alteración.

55 Según la invención, la primera diana puede ser un chorro de fluido, en particular un chorro de gas. En una forma de realización ventajosa, el chorro de gas es un chorro supersónico, preferiblemente un chorro supersónico de gas helio. El chorro de gas, en particular, el chorro supersónico de gas helio, puede tener aproximadamente 3 mm de diámetro y puede proporcionar una densidad de electrones de plasma inicial de  $7,5 \times 10^{18}$  electrones/cm<sup>3</sup>.

60 La segunda diana puede consistir en un material sólido. La segunda diana de la invención puede ser una lámina sólida que comprende un material de alto Z. La lámina sólida puede estar libre de un respaldo de otro material. El material de alto Z puede ser un material o una aleación que comprende un material o una combinación de materiales seleccionados entre el grupo de tantalio (preferido), molibdeno, tungsteno y plomo. La segunda diana puede estar realizada como una banda de material que puede estar enrollada o desplazada, entre disparos de láser consecutivos

65

con el fin de exponer una superficie no usada a cada pulso de electrones. Ventajosamente, la segunda diana se puede usar entonces más intensamente.

5 La primera diana puede ser capaz de liberar electrones con mayor energía o igual a 1 MeV, preferiblemente mayor o igual a 100 MeV. Por ejemplo, esto se puede conseguir disponiendo una forma geométrica adecuada y proporcionando un material apropiado. En ciertas realizaciones, se prefiere que el material, la forma y las dimensiones de la primera diana se elijan de tal manera que la diana sea capaz de liberar electrones con energía mayor que o igual a 1 MeV, preferiblemente 100 MeV.

10 En un perfeccionamiento adicional de la invención, la fuente puede comprender medios de generación que crean un campo magnético corriente abajo desde la segunda diana. El campo magnético se hace pasar por los pulsos cortos de fotones de alta energía y actúa como un filtro en el sentido de que las partículas cargadas son desviadas mientras que los fotones no lo son. En consecuencia, esto conduce a una separación de los electrones restantes o secundarios de los fotones.

15 También se proporciona un procedimiento para la generación de radiación de alta energía, en particular un pulso de partículas de alta energía. En el procedimiento se producen pulsos láser con una longitud de pulso más corta que 200 fs (femtosegundos), se prefieren más cortos que 100 fs o incluso 70 fs, especialmente más cortos que o iguales a 50 o incluso 30 fs, y capaces de enfocarse para alcanzar intensidades mayores de  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>, preferiblemente mayores de  $10^{19}$  o incluso  $10^{20}$  W/cm<sup>2</sup> (vatios por centímetro cuadrado). Una primera diana que es capaz de liberar un pulso de electrones de alta energía tras la irradiación con al menos uno de dichos pulsos láser se irradia con al menos uno de dichos pulsos láser. Se proporciona una segunda diana y se golpea mediante el pulso de electrones de alta energía. La segunda diana es capaz de liberar un pulso corto de fotones de alta energía cuando es golpeada por el pulso de electrones de alta energía. Como la dicha segunda diana se usa una diana con un espesor menor que o igual a la longitud de saturación del endurecimiento del haz de dichos fotones de alta energía en la segunda diana.

20 En una realización preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, el al menos un pulso láser se propaga a dicha diana bajo condiciones de vacío. La interacción en la propia diana también se realiza en condiciones de vacío. Ambas medidas independientes entre sí ventajosamente reducen el riesgo de degradación de los pulsos láser.

25 La fuente y el procedimiento de acuerdo con esta memoria descriptiva proporcionan fotones de alta energía que, a grandes rasgos y ventajosamente, se pueden usar en aplicaciones médicas, aplicaciones radiológicas, aplicaciones radioquímicas, aplicaciones radiobiológicas, o aplicaciones en ingeniería física, o en ingeniería de materiales, por ejemplo, inspección de material o mecánica no destructiva. En particular, dicho uso puede ser no terapéutico y/o de no diagnóstico.

30 En una aplicación particularmente preferida de dicha invención, dicha fuente - más precisamente, dichos fotones de alta energía de dicha fuente - se usa para una inspección no destructiva y/o no invasiva de una pieza de trabajo o una parte de trabajo. La pieza a trabajar puede ser una parte, un componente o todo el cuerpo de un dispositivo, un aparato, un equipo, una máquina, una instalación, una construcción de un edificio, un automóvil, un avión, un buque de guerra, o similares. Se obtiene una imagen de al menos una parte de dicha pieza de trabajo: la pieza de trabajo se proporciona y/o se coloca en una posición para ser expuesta por dichos fotones de alta energía. Entonces, al menos una parte de dicha pieza de trabajo está expuesta por dichos fotones de alta energía liberados desde dicha fuente. Después de eso, al menos se detecta una señal que es una medida de la dispersión y/o amortiguación de dichos fotones de alta energía. Dependiendo de dicha señal, se crea una imagen de al menos dicha parte de dicha pieza de trabajo, en particular por vía electrónica. Ventajosamente, dicha inspección no se limita a la superficie de la pieza de trabajo, pero puede comprender o se puede extender a su interior hasta una profundidad a la que dichos fotones de alta energía pueden penetrar. La pieza de trabajo puede ser escaneada en dos dimensiones o en tres dimensiones con el fin de obtener una imagen bidimensional o tridimensional, en consecuencia. La imagen obtenida se puede procesar adicionalmente, preferentemente en forma electrónica y/o usando programas informáticos. En un perfeccionamiento adicional, la imagen puede obtenerse en tomografía.

35 Otras mejoras, perfeccionamientos y realizaciones ventajosas, aspectos y características se describen a continuación y se explican con más detalle haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos dados, aunque indican la realización preferida, están destinados para el propósito de ilustración y no están destinados a limitar indebidamente el alcance de la presente invención.

40 Los diversos aspectos, ventajas y posibles usos de la presente invención se harán más evidentes en la siguiente descripción y los dibujos atribuidos, en los que:

La figura 1 muestra una representación esquemática de la topología de una realización de la fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía según la invención, y

La figura 2 muestra un esquema de la realización preferida de la instalación láser de amplificación de pulso por modulación de frecuencia (CPA) usada en el dispositivo según la invención.

5 En la figura 1 se muestra una representación esquemática de la topología de una realización preferida de la fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía. Un sistema láser 10 es capaz de emitir un tren de pulsos láser ultra-intensos de sub-picosegundos 12 más cortos de 100 fs que pueden ser enfocados para alcanzar intensidades superiores a  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>. La salida del láser consiste en pulsos láser 12 que tienen un borde de subida ventajosamente empinado (véase también más adelante en conjunción con la figura 2). Las ópticas de entrega 14 que pueden comprender elementos de guía de luz, elementos de divergencia o conversores de emitancia o similares, aquí representados en la figura 1 mediante un simple espejo, guían a los pulsos láser 12 a un volumen de reacción o interacción. Los pulsos láser se enfocan con la ayuda de un espejo parabólico fuera del eje f/18 16 sobre una primera diana 18, en una realización preferida un chorro de gas helio supersónico con 3 mm de diámetro. La primera diana 18 se coloca preferiblemente en el centro o cerca del foco, por ejemplo en el rango Rayleigh del foco, de los pulsos láser 12. La interacción de los pulsos láser 12 con la primera diana 18 produce un pulso de electrones 20 altamente colimado (muy baja emitancia) emitido esencialmente perpendicular a la superficie posterior de la primera diana 18.

El pulso de electrones 20 incide sobre una segunda diana 22 que comprende, por ejemplo, tantalio. El espesor 24 de la segunda diana 22 es menor que la longitud de saturación 26 del endurecimiento del haz de pulso de electrones. Dentro de la segunda diana 22 se genera un pulso corto de fotones de alta energía 28 (fotones  $\gamma$ ).

La realización mostrada en la figura 1 comprende también un campo magnético 30 cuyos medios de generación no se muestran explícitamente, pero podrían ser imanes permanentes o electroimanes. El campo magnético 30 es capaz de influir en la dirección de propagación de los electrones que abandonan la segunda diana 22 básicamente en la misma dirección que el pulso de fotones producido 22 y separar los electrones de los fotones con el fin de recibir un pulso de fotón purificado. El pulso corto así obtenido de fotones de alta energía podría usarse en una aplicación médica o radiológica o con fines de inspección de materiales.

La totalidad de la fuente puede disponerse en el interior de una cámara de vacío. De forma alternativa, los pulsos láser 12 pueden transmitirse de una mesa láser al volumen de reacción en una carcasa de cámara de vacío que aloja la primera diana 18 y la segunda diana 22. Los pulsos láser 12 pueden guiarse al volumen bajo condiciones de vacío.

35 En la figura 2 se muestra un esquema de la realización preferida del sistema láser usado en la fuente según la invención. El sistema láser es un sistema láser llamado de doble CPA. Funciona en modo de amplificación de pulso por modulación de frecuencia a 820 nm (nanómetros) de longitud de onda central. Un oscilador de modo acoplado 32 comprende un cristal de titanio:zafiro que es bombeado por un láser de ion argón. La salida del oscilador 32 consiste en pulsos de femtosegundos, en particular, esencialmente de 15 fs de longitud, con una energía de 2 nJ con una tasa de repetición de aproximadamente 88 MHz. Los pulsos del oscilador 32 se extienden por un par de rejillas ópticas en un extensor 38 (modulación de pulso (pulse chirping)) y un modulador acústico-óptico se usa después para seleccionar impulsos individuales a una frecuencia de 10 Hz del tren de impulsos de alta frecuencia que abandonan el oscilador 32 y el extensor 38. Después de que los pulsos de esencialmente 400 ps de longitud y con una energía de alrededor de 500 pJ se introducen en un preamplificador de paso 8 34. El preamplificador 34 se bombea por un láser de Nd:YAG pulsado de doble frecuencia con una energía 200 mJ por pulso a una frecuencia de 45 10 Hz. El extensor 38 y el preamplificador 34 son ópticamente aislados usando una disposición de una célula Pockels entre polarizadores. La salida del preamplificador 34 pasa a través de un filtro espacial 40 (afocal x4) y transmite una energía de 2 mJ por pulso. Ahora, el tren de impulsos de 10 Hz se vuelve a comprimir parcialmente o totalmente (compresor 46, desmodulación de pulso (pulse dechirping)) y pasa a un dispositivo 48 para conformar el perfil de intensidad temporal (topología preferida después de la etapa de preamplificación). Es ventajoso aumentar el contraste de láser, lo que significa la diferencia en intensidad entre el máximo y el borde delantero (del ala) del pulso, por la conformación del perfil de intensidad temporal justo después de la etapa de preamplificación. El dispositivo 48 es seguido por un segundo extensor 38 (modulación de pulso) y por un amplificador principal 36. El amplificador principal 36 comprende un primer amplificador de potencia de paso 5 42 bombeado por un láser de Nd:YAG pulsado de doble frecuencia con 1 J de energía por pulso a 10 Hz. Los impulsos amplificados a 200 mJ de energía pasan a través de un filtro espacial 40, preferiblemente un filtro espacial de vacío (afocal x4) y entran en un segundo amplificador de potencia de paso 4 44 del amplificador principal 36. El cristal del segundo amplificador de potencia 44 está contenido en una cámara criogénica a 120 K de temperatura. Varios láseres de Nd:YAG pulsados de doble frecuencia bombean esta etapa de amplificación: se usan tres láseres en 1,7 J, tres láseres en 1,5 J, un láser en 1,7 J. Esta disposición resulta en una salida de pulsos de 400 ps de longitud y que tienen una energía de 60 3,5 J. Después de la segunda amplificación de un filtro espacial 40, preferiblemente se atraviesa un filtro espacial de vacío (afocal x1). Los pulsos son finalmente comprimidos en un compresor de vacío 46 (desmodulación de pulso) usando un par de rejillas ópticas que alcanzan pulsos de 30 fs a 25 fs de longitud (anchura total a media altura) y que tienen una energía de 2,5 J. La cintura del punto focal es 18  $\mu$ m, dando como resultado intensidades enfocadas en vacío del orden de  $4 \times 10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>, que corresponde a un potencial de vector láser normalizado de 1,4, 65 alcanzando energías en el blanco de 1,3 J.

**Lista de números de referencia**

- 10 sistema láser
- 5 12 pulso láser de subpicosegundos
- 14 óptica de entrega
- 16 espejo parabólico
- 18 primera diana
- 20 pulso de electrones
- 10 22 segunda diana
- 24 espesor de la segunda diana
- 26 longitud de saturación del endurecimiento del haz
- 28 pulso de fotones
- 30 campo magnético
- 15 32 oscilador
- 34 preamplificador
- 36 amplificador principal
- 38 extensor
- 40 filtro espacial
- 20 42 primer amplificador de potencia
- 44 segundo amplificador de potencia
- 46 compresor
- 48 dispositivo para la conformación del perfil de intensidad temporal

**REIVINDICACIONES**

1. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28), que comprende:

- 5 - un sistema láser (10) que produce pulsos láser (12) con una longitud de pulso más corta que 200 fs y capaz de ser enfocado para alcanzar intensidades mayores de  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>;
- una primera diana (18) capaz de liberar un pulso de electrones de alta energía (20) tras la irradiación con al menos uno de dichos pulsos láser (12);
- 10 - una segunda diana (22) capaz de liberar un pulso corto de fotones de alta energía (28) al ser golpeada por dicho pulso de electrones de alta energía (20);
- caracterizada por que
- 15 - el espesor (24) de la segunda diana (22) es menor o igual que una longitud de saturación (26) del endurecimiento del haz de dichos fotones de alta energía (28) en la segunda diana (22), y
- 20 - una anchura lateral de la segunda diana (22) es menor que la anchura total a media altura (FWHM) de la anchura lateral de dicho pulso de electrones de alta energía (20) que incide sobre la segunda diana (22).

2. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

25 el espesor (24) de la segunda diana (22) es esencialmente igual a la longitud de saturación (26) del endurecimiento del haz de dichos fotones de alta energía (28) en la segunda diana (22).

3. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

30 el sistema láser (10) es una instalación de amplificación de pulso por modulación de frecuencia de un láser de Ti:zafiro de modo autobloqueado con una energía de salida mayor de 0,6 J, una potencia de salida mayor de 20 TW capaz de emitir pulsos láser más cortos de 40 fs.

4. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

40 la segunda diana (22) está dispuesta directamente corriente abajo desde la primera diana (18).

5. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

45 la primera diana (18) es un chorro de fluido o un chorro de gas o un chorro de gas supersónico o un chorro de gas helio supersónico.

6. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

50 el punto focal o la cintura del láser es del orden de la longitud de onda de plasma de la primera diana (18).

7. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

60 la segunda diana (22) es una lámina sólida que comprende un material de alto Z y/o comprende una banda de material.

8. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1,

caracterizada por que

la segunda diana (22) es un material o una aleación que comprende un material o una combinación de materiales seleccionados entre el grupo de tantalio, molibdeno, tungsteno y plomo.

5 9. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que

la primera diana (18) es capaz de liberar electrones con una energía mayor o igual que 1 MeV.

10 10. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por

15 medios de generación que crean un campo magnético (30) corriente abajo desde la segunda diana (22) y se hacen pasar por los pulsos cortos de fotones de alta energía (28).

20 11. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por

una anchura lateral de la segunda diana (22) que es igual a o menor que 1,0 mm.

25 12. Una fuente de pulsos cortos de fotones de alta energía (28) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por que

dicho espesor (24) de la segunda diana (22) es menor que o igual a 1,0 mm.

30 13. Un procedimiento para generar un pulso corto de fotones de alta energía (28), que comprende:

- producir pulsos láser (12) con una longitud de pulso más corta que 200 fs y capaces de ser enfocados para alcanzar intensidades mayores de  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>;

35 - irradiar una primera diana (18) capaz de liberar un pulso de electrones de alta energía (20) tras la irradiación con al menos uno de dichos pulsos láser (12);

- incidir dicho pulso de electrones de alta energía (20) sobre una segunda diana (20) capaz de liberar un pulso corto de fotones de alta energía (28); caracterizado por

40 - usar como dicha segunda diana (20) una diana con un espesor (24) que es menor que o igual a la longitud de saturación (26) del endurecimiento del haz de dichos fotones de alta energía (28) en la segunda diana (22) y con una anchura lateral de la segunda diana (22) que es menor que la anchura total a media altura (FWHM) de la anchura lateral de dicho pulso de electrones de alta energía (20) que incide sobre la segunda diana (22).

45 14. Uso de una fuente de acuerdo con la reivindicación 1 para la inspección no destructiva de una pieza de trabajo mediante la obtención de una imagen de al menos una parte de dicha pieza de trabajo, que comprende las etapas de:

50 - proporcionar dicha pieza de trabajo en una posición para estar expuesta por los fotones de alta energía liberados de dicha fuente;

55 - exponer al menos una parte de dicha pieza de trabajo con fotones de alta energía liberados de dicha fuente;

- detectar al menos una señal que es una medida de la dispersión y/o de la amortiguación de dichos fotones de alta energía; y

60 - crear una imagen de al menos dicha parte de dicha pieza de trabajo.



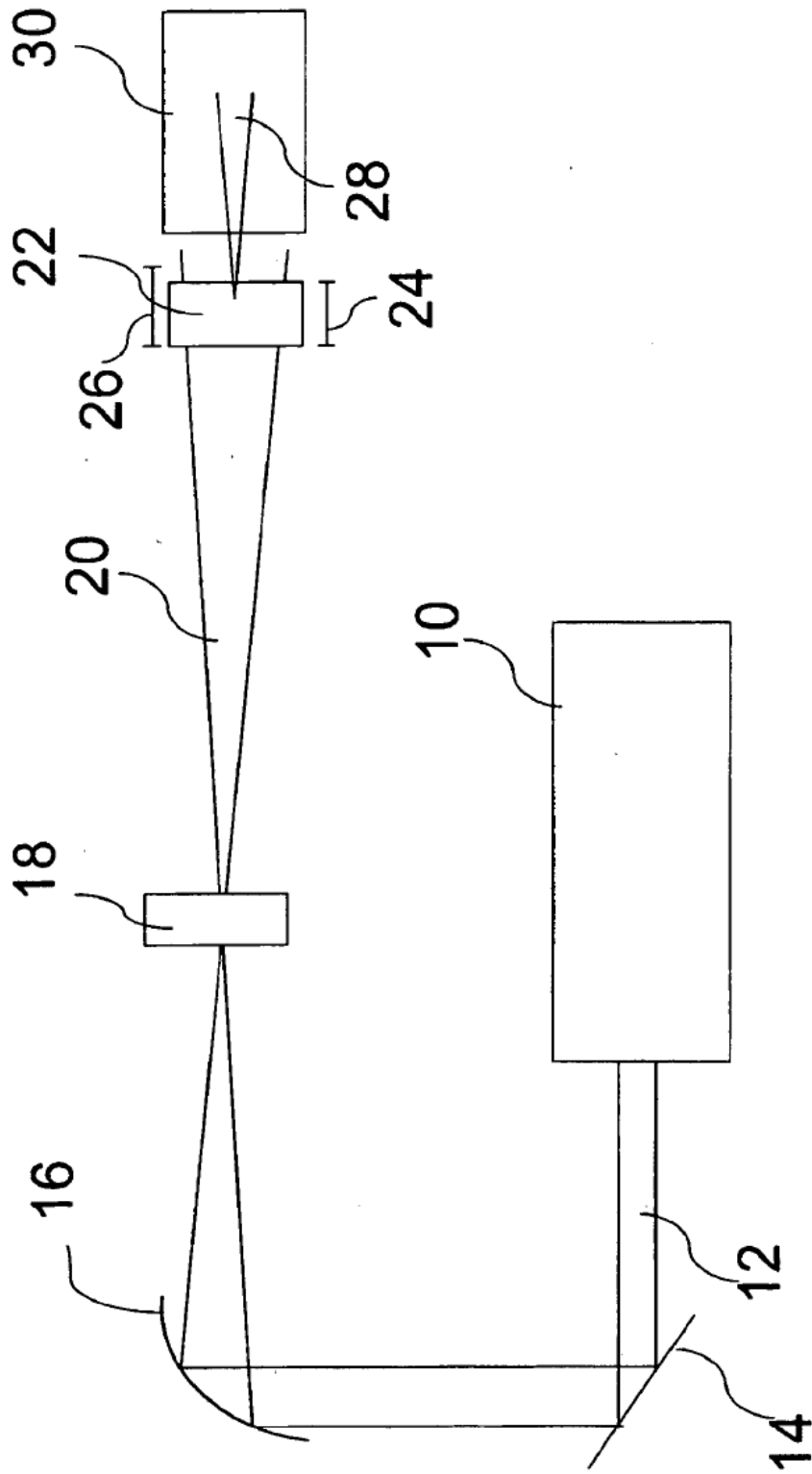


Fig. 1

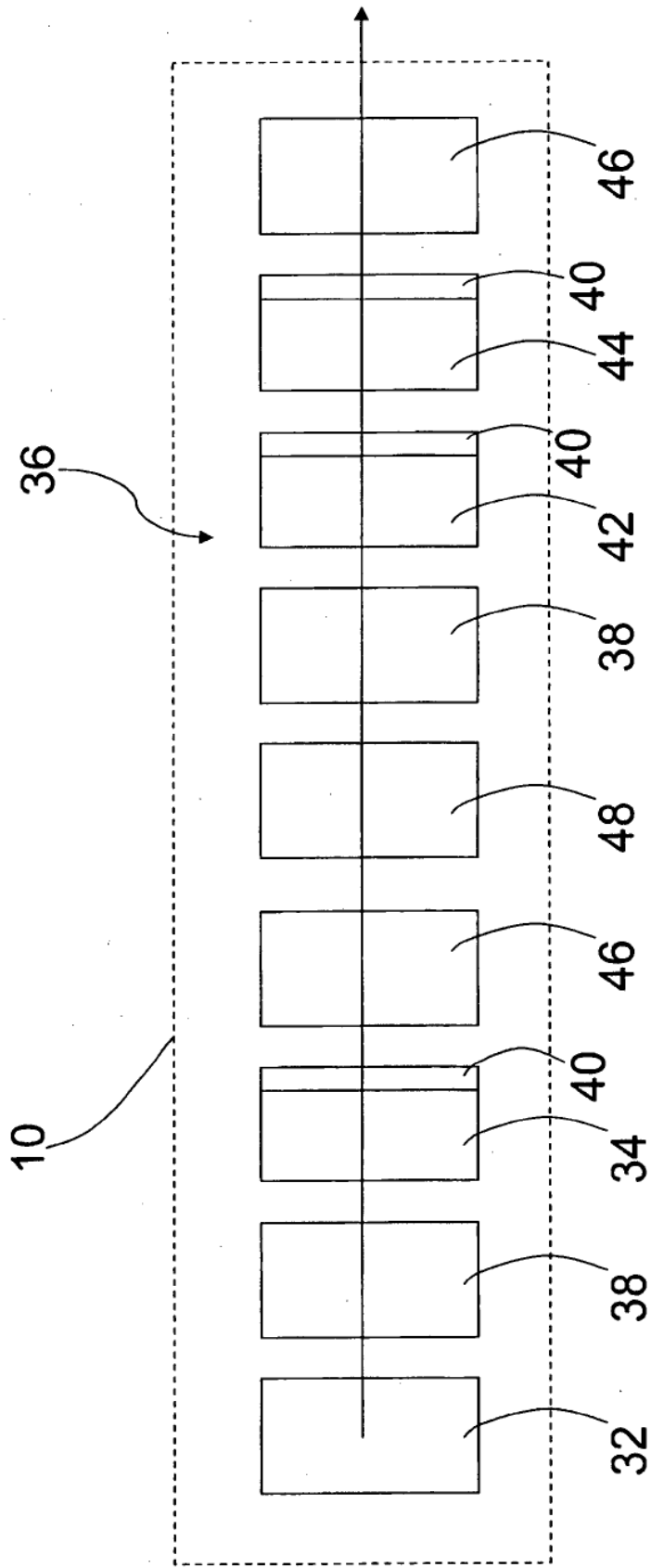


Fig. 2