

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 295**

51 Int. Cl.:
G01N 23/204 (2006.01)
G01N 23/222 (2006.01)
G01V 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06291226 .6**
96 Fecha de presentación: **28.07.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1882929**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.01.2008**

54 Título: **SISTEMA DE DETECCIÓN Y MÉTODO DE DETECCIÓN BASADOS EN PARTÍCULAS ENERGÉTICAS PULSADAS.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.02.2012

73 Titular/es:
**SAGE INNOVATIONS, INC.
SUITE 410, 4TH FLOOR BARKLY WHARF LA
CAUDANT WATERFRONT
PORT LOUIS, MU**

72 Inventor/es:
Peter, Choi

74 Agente: **Curell Aguilá, Mireia**

ES 2 375 295 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 de detección y método de detección basados en partículas energéticas pulsadas.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a tecnología de interrogación de neutrones activos y, más particularmente, a un sistema de detección que utiliza neutrones para interrogar y detectar materiales o compuestos en objetos.

10 Antecedentes de la invención

La denominada "interrogación neutrónica" es la única tecnología no invasiva conocida hasta la fecha que permite extraer de un objeto blindado y sellado una firma que está relacionada con los elementos o compuestos contenidos en el objeto.

15 Por tanto, dicha tecnología ofrece un progreso significativo con respecto a las máquinas de rayos X y similares, que permiten discriminar entre objetos sólo por su forma y la densidad del material, y se utiliza para diversas aplicaciones, por ejemplo la detección de explosivos, materiales nucleares o contrabandos, tales como narcóticos en objetos o edificios.

20 Se ha desarrollado una pluralidad de técnicas de detección basadas en neutrones, dependiendo de la aplicación práctica.

25 Se ha intentado el Análisis de Neutrones Térmicos (TNA), por ejemplo, para la inspección de equipajes facturados en aeropuertos. Más específicamente, los neutrones de baja energía hacen que el nitrógeno contenido en ciertos explosivos emita rayos gamma y provoquen que los materiales fíisiles cedan neutrones de su propiedad. Sin embargo, los cribadores TNA de primera generación producían una tasa inaceptable de falsas alarmas debido a un gran número de artículos portadores de nitrógeno contenidos en un equipaje típico. Además, el TNA requiere moderadores para ralentizar los neutrones rápidos de una fuente hasta convertirlos en neutrones térmicos.

30 Se ha propuesto también el Análisis de Neutrones Térmicos Rápidos Pulsados (PFTNA) de equipaje de contrabando, tal como explosivos y narcóticos. Combina la detección de emisiones de rayos gamma procedentes de diversas interacciones de neutrones diferentes en un único sistema y utiliza un neutrón de alta energía e impulso corto para realizar una interrogación FNA (Análisis de Neutrones Rápidos). En la patente US nº 5.200.626 se describe típicamente un generador de neutrones adecuado. Esto hace posible separar en tiempo las interrogaciones FNA y TNA y mejora la calidad y las estadísticas de las firmas gamma medidas.

35 Típicamente, se utiliza un único generador de neutrones repetitivamente pulsados basado en la reacción de deuterio-tritio para producir un breve impulso (varios μ s) de neutrones de 14 MeV. Durante este impulso, la interacción se debe principalmente a la dispersión inelástica de neutrones de alta energía en el objeto que se interroga. La emisión de rayos gamma está compuesta principalmente por fotones gamma instantáneos procedentes de reacciones (n,n'y) y (n,p). El impulso se repite con una frecuencia de 10 kHz y los espectros de fotones gamma instantáneos procedentes de las interacciones de neutrones de alta energía se recogen utilizando una técnica de espectroscopia gamma convencional de solo recuento de fotones. A partir de estos espectros, pueden extraerse las firmas gamma de elementos tales como C y O.

40 Entre los impulsos neutrónicos, parte de los neutrones rápidos continúan chocando con el material de base, en particular los elementos luminosos, y ralentizándose hasta el nivel de energía térmica.

50 Cuando un neutrón tiene energía por debajo de 1 eV, puede ser capturada fácilmente por elementos tales como H, N o Fe, produciendo fotones gamma instantáneos procedentes de tales reacciones de captura (n,y). Se construye un espectro separado de reacción de neutrones térmicos a partir de la emisión gamma detectada durante este periodo.

55 Después de un número predeterminado de impulsos, hay una larga pausa que permite la detección de fotones gamma emitidos desde elementos tales como O, Al y Si, que se han activado y se extinguen con una reacción gamma retardada.

60 Pasando cíclicamente por estas tres etapas, se generan tres espectros independientes que representan la interacción de neutrones rápidos, la interacción de neutrones térmicos y la interacción de activación retardada. Estos tres espectros permitirían, en principio, una determinación clara de los cuatro elementos básicos en altos explosivos.

En la práctica, la identificación de una sustancia en PFTNA se realiza examinando las relaciones atómicas, por ejemplo la relación de átomos de carbono a átomos de oxígeno (C/O). Esto se hace tomando la relación de las intensidades para rayos gamma de carbono y oxígeno y aplicando entonces la relación de las secciones transversales para las reacciones inductoras de gamma de estos elementos.

65

A diferencia del procedimiento FNA con señales gamma inherentemente mezcladas procedentes del procedimiento TNA, el procedimiento PFTNA separa específicamente los espectros debidos a los procedimientos FNA y TNA, lo que mejora la identificación de los elementos de interés en la detección de explosivos.

5 El tiempo corto y específico durante el cual se emiten y se recogen los rayos gamma procedentes del procedimiento FNA mejora la relación señal a ruido de fondo de las firmas gamma procedentes de C y O en comparación con la técnica FNA convencional.

10 Sin embargo, esta mejora es significativa sólo si hay muy pocas reacciones de captura de neutrones térmicos durante el tiempo del procedimiento FNA. No obstante, en el contexto de los explosivos ocultos, hay frecuentemente una región grande, además de la región pequeña ocupada por los explosivos, en donde se emitirá una señal procedente de reacciones de captura de neutrones térmicos. Esto deteriorará significativamente la relación señal a ruido, lo que significa a su vez que es necesario de nuevo un tiempo de interrogación largo para obtener estadísticas útiles.

15 Además, en el contexto de la inspección de equipajes, la presencia de gran cantidad de materiales plásticos desde la carcasa exterior hasta el contenido afectará fuertemente a la identificación de explosivos hecha a partir de una medición de la relación C/O o N/O.

20 Otra técnica de interrogación conocida es el PFNA (Análisis de Neutrones Rápidos Pulsados) y se basa en la relación de velocidad/energía de un neutrón rápido, con lo que un impulso neutrónico muy corto y de alta energía de una duración de unos pocos nanosegundos puede proporcionar una oportunidad para registrar la región espacial de la interacción de neutrones a partir del momento de vuelo (TOF) del neutrón a través del objeto bajo interrogación.

25 Esta técnica se describe, por ejemplo, en el documento WO 91/11010.

Con el fin de recoger la información TOF, se utiliza un impulso neutrónico rápido monoenergético, de modo que pueda calcularse la posición espacial del neutrón en cualquier momento dado. Cuando un neutrón rápido realiza una colisión de emisión gamma con un elemento en el objeto bajo interrogación, es posible entonces asociar el tiempo de detección (y, por tanto, de emisión) de este fotón gamma con una posición dada en el objeto. Utilizando una fuente de neutrones repetitivamente pulsados de tal duración muy corta, y midiendo el tiempo de aparición con relación al tiempo de lanzamiento del impulso neutrónico, así como la energía de la emisión gamma, puede determinarse la densidad elemental de un rango de elementos dentro de un material a granel, a lo largo de la trayectoria del neutrón rápido.

35 Específicamente, utilizando las reacciones gamma instantáneas procedentes de neutrones rápidos, puede determinarse la concentración relativa de los elementos C, N, O en un cubo espacial dado, denominado voxel. Utilizando las relaciones específicas de estos tres elementos en altos explosivos, pueden identificarse la presencia y la localización de un explosivo.

40 Más particularmente, utilizando agrupaciones ordenadas de detectores de gamma adecuados y explorando el impulso de haz de neutrones a lo largo de dos ejes, puede construirse en principio un mapa 3D de la concentración de elementos en los diferentes voxeles.

45 La técnica PFNA es particularmente adecuada para examinar una pequeña cantidad de explosivos ocultos dentro de un objeto grande de densidad media relativamente baja.

50 Sin embargo, se requiere un impulso neutrónico monoenergético muy corto si debe conseguirse una resolución espacial razonable. Típicamente, tal fuente de neutrones se produce a partir de una aceleración lineal. Aunque se han desarrollado sistemas de PFNA basados en tal acelerador para el examen de contenedores de cargamento y para aplicaciones de seguridad aérea con buenos resultados, el requisito de tamaño grande y blindaje sustancial asociado al acelerador lineal significa que el sistema no puede ser móvil, de modo que la técnica no sea apropiada para aplicaciones de desminado o de aeropuertos.

55 Además, todas las técnicas de detección existentes basadas en neutrones, aunque son precisas en términos de analizar el contenido químico de una muestra, son lentas (lleva típicamente varios minutos realizar una única detección).

60 Este cuello de botella es el resultado de la técnica de recuento de fotones estándar requerida para crear la acumulación de espectros gamma y, por tanto, para permitir que se detecten los elementos químicos en la muestra.

La razón es que el detector puede recibir sólo un fotón de una vez y debe esperar una ventana de tiempo de detección para analizar la energía del fotón antes de que pueda llegar el próximo fotón.

65 Con un impulso neutrónico de intensidad muy alta, no es posible registrar individualmente cada fotón gamma de activación o cada neutrón retrodispersado, ya que ocurrirá el fenómeno de amontonamiento de impulsos.

Efectivamente, si se detecta más de un fotón en una ventana de tiempo de medición dada, se considera que los fotones llegan "juntos" y, por tanto, no se discriminan uno de otro.

5 Por tanto, la tasa máxima de detección y análisis de fotón único limita la fluencia de neutrones máxima utilizable en un único impulso.

10 Como se cita anteriormente, esto lleva a un tiempo de detección de varios minutos para construir espectros útiles con una relación de señal a ruido suficientemente alta para lograr una detección positiva. La razón es que 10^6 o más mediciones, requiriendo cada una de ellas típicamente 1 microsegundo o más, son necesarias para formar un espectro de buena calidad.

Además, la fuente de neutrones utilizada en tales sistemas conocidos implica elementos radiactivos o generadores eléctricos que utilizan anticátodos radiactivos, lo que es altamente indeseable, en particular en entornos civiles.

15 El documento DE 103 23 093 describe un método para la detección de productos peligrosos, tales como explosivos, agentes de guerra química o narcóticos en piezas de equipaje. Los objetos a examinar se irradian con neutrones de alta velocidad.

20 Para evaluar dicha operación, se detectan los neutrones térmicos resultantes utilizando múltiples canales, de una manera resuelta en tiempo, que emplean tubos de recuento de neutrones, y se desarrolla su curva de extinción en función del tiempo. Al mismo tiempo, se registra la radiación gamma inducida debido a dispersión inelástica y radiación capturada, utilizando dos o más detectores de gamma y la construcción de espectros de gamma. El análisis de coincidencia de la señal de extinción con el tiempo de n detectores y los espectros de gamma procedentes de múltiples canales se utiliza para proporcionar criterios de detección.

25 Además, el documento WO 99/53344 describe un sistema para detectar sustancias con un generador de neutrones pulsados. Comprende un sistema de detección con un detector de gamma único que emite tres grupos independientes de espectros de los rayos gamma que se originan a partir de colisiones inelásticas de neutrones rápidos, de reacciones de neutrones térmicos y de activaciones de neutrones, respectivamente. Los tres espectros se obtienen muestreando los fotones gamma resultantes después de cada impulso de neutrones de interrogación en un periodo de tiempo diferente tras el lanzamiento del impulso neutrónico, mientras que cada uno de los espectros se establece sobre un periodo de tiempo pulsando repetitivamente la fuente de neutrones y midiendo la energía de los rayos gamma detectados en un único esquema de recuento de fotones.

35 La patente US nº 5.446.288 proporciona un sistema portátil que comprende: una fuente radiactiva débil para proporcionar un flujo de neutrones rápidos; un detector para detectar un flujo disperso de neutrones térmicos y para generar una señal de salida de detector que indica la magnitud de dicho flujo disperso; y un dispositivo de salida, acoplado a dicho detector, para convertir dicha señal de salida del detector a un formato que indica la magnitud de dicho flujo disperso a un usuario.

40 **Sumario de la invención**

La presente invención prevé superar estos inconvenientes de las técnicas convencionales de detección con base en neutrones para inspeccionar objetos.

45 Más particularmente, además de las consideraciones autoevidentes del bajo coste y la huella aceptable, sería altamente deseable un sistema que ofreciera fiabilidad y tiempo de detección muy rápido.

50 Es un objetivo de la presente invención proporcionar una nueva tecnología de detección de material basada en la metodología de interrogación de neutrones por impulsos, que evite el método convencional de solo recuento de fotones para caracterizar los fotones y los neutrones, activados y retrodispersados desde un objeto.

55 Es un objetivo adicional de la presente invención proporcionar un sistema de detección versátil que cubra un rango amplio de energías, incluyendo su evolución en el tiempo, con una única medición.

Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de identificación que permita reducir significativamente tasas de falsa alarma y proporcione una salida de datos mejorada para la decisión del operario.

60 Es también un objetivo de la presente invención proporcionar un sistema capaz de detectar contrabandos convencionales, tales como narcóticos, y también ciertos materiales nucleares, que pueden estar ocultos en recipientes metálicos que son opacos a los sistemas de inspección de rayos X convencionales.

65 Es todavía un objetivo adicional de la presente invención proporcionar un sistema de detección que supere la limitación debida al amontonamiento de impulsos.

Todavía otro objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de detección que permita detectar la

presencia de explosivos a granel en equipajes de aeropuertos o de minas terrestres durante el desminado por medio de un solo impulso neutrónico de alta densidad y con un breve tiempo de respuesta.

En consecuencia, la presente invención proporciona un sistema de detección según la reivindicación 1.

- 5 Unos aspectos preferidos, pero no limitativos de este sistema son los siguientes:
- cada conjunto detector comprende un respectivo filtro de paso de banda de energía;
 - 10 • cada conjunto detector comprende un escintilador acoplado a un fotomultiplicador por medio de fibras ópticas;
 - cada conjunto detector es sensible a fotones gamma y neutrones;
 - dichas partículas son neutrones y dicha fuente de partícula comprende:
 - 15 - un primer y segundo electrodo,
 - una fuente de iones de plasma en el primer electrodo,
 - 20 - un excitador de la fuente de iones de plasma para permitir que se desarrolle un plasma ionizado que contiene deuterones hacia el segundo electrodo,
 - unos medios para aplicar entre dichos electrodos un corto impulso de alto voltaje en un momento en el que dicho plasma iónico está en un estado transicional con una distribución espacial de deuterones a cierta distancia de dicho segundo electrodo, para acelerar dichos deuterones hacia dicho segundo electrodo, mientras se supera el límite de corriente de carga espacial de un diodo de vacío convencional, y
 - 25 - dicho segundo electrodo forma un anticátodo portador de litio para generar dichos neutrones en dicho segundo electrodo por interacción de deuterón/litio;
 - 30 • dichos neutrones tienen una energía de al menos 3 MeV, que es apropiada para la detección de materiales nucleares;
 - dichos neutrones tienen una energía de al menos 5 MeV, que es apropiada para la detección de materiales basados en carbono, mientras no interactúen con posibles elementos circundantes;
 - 35 • dichos neutrones tienen una energía de al menos 8 MeV, que es apropiada para la detección de explosivos cuando estos interactúan con los cuatro elementos H, C, N, O comunes a la mayoría de los explosivos;
 - 40 • las señales suministradas por los conjuntos detectores corresponden a un único impulso de partículas procedentes de dicha fuente;
 - la fuente de partícula es capaz también de generar fotones gamma que resultan de la interacción de neutrones dentro de la propia fuente.

45 Según un segundo aspecto, la presente invención proporciona un método para detectar propiedades de materiales según la reivindicación 9.

50 De una manera preferida, dicho paso de aplicación comprende la aplicación de un único impulso de un flujo de partículas energéticas.

En tal caso, dicho paso de aplicación puede comprender además la aplicación de un impulso secundario, realizado en diferentes partículas energéticas e inducido desde dicho impulso único.

55 Preferentemente, las partículas energéticas de dicho impulso único son neutrones, mientras que las partículas energéticas de dicho impulso secundario son fotones gamma.

Breve descripción de los dibujos

60 La presente invención se entenderá mejor a partir de la siguiente descripción a modo de ejemplo de una realización preferida de la misma, hecha con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de identificación según la presente invención;
- 65 - la figura 2 ilustra con mayor detalle una unidad de detección comprendida en el sistema de la figura 1; y

- la figura 3 es un diagrama de tiempo que ilustra una recogida de señales típica en relación con la emisión de impulsos y su llegada al objeto a analizar.

5 Descripción detallada de una forma de realización preferida de la invención

Haciendo referencia ahora a los dibujos, en la figura 1 está representado un sistema de identificación 700 según la presente invención, que comprende:

- 10 - un sistema transportador 650 para objetos 600 a inspeccionar;
- una fuente de partículas energéticas 500;
- una unidad de detección 400; y
- una unidad de procesamiento de datos 800.

15 La fuente 500 genera un flujo elevado y una intensidad alta de partículas energéticas de impulsos cortos dirigidas hacia un objeto 600 a comprobar.

La fuente incluye un generador de partículas 100 que genera el flujo de partículas energéticas en respuesta a una unidad de potencia pulsada 200 controlada por una unidad de control 300.

20 En funcionamiento, un corto impulso de partículas energéticas de flujo elevado y alta densidad es generado y dirigido hacia un objeto 600 colocado en una región de inspección hacia la cual se dirige un colimador de haces 130.

25 El sistema transportador 650 puede ser convencional y se utiliza para mover los objetos 600, tales como piezas de equipaje, en incrementos apropiados a través de la región de inspección.

La fuente 500 se utiliza en combinación con la unidad de detección 400 para detectar radiación electromagnética y señales de partículas energéticas representativas de los materiales contenidos en el objeto inspeccionado 600 tras la interacción con la fuente de partículas energéticas penetrantes.

30 Como se muestra en la figura 2, la unidad de detección 400 comprende una agrupación ordenada de detectores 410 que tienen un amplio conjunto de respuestas de energía y son capaces de detectar fotones gamma y/o neutrones retrodispersados desde el objeto 600 cuando es expuesto a la fuente 500. Cada detector 410 es sensible a un rango dado de energía para los rayos electromagnéticos y los rayos de partículas energéticas retrodispersados desde el objeto.

35 Los detectores proporcionan conjuntamente datos que pueden procesarse en la unidad 800 para dar una firma singular para materiales o compuestos químicos o nucleares específicos a buscar.

40 Correlativamente, una detección según la presente invención está basada en el reconocimiento de una firma gamma característica que puede adquirirse durante un único impulso de partículas energéticas (aunque es posible también la detección de impulsos múltiples) y que, al contrario de los sistemas de la técnica anterior, no requiere una resolución de energía detallada.

45 La unidad de procesamiento de datos 800 analiza las señales proporcionadas por la agrupación ordenada de detectores con el fin de generar la firma gamma del objeto 600. A continuación, se utiliza una comparación estadística de la firma calculada con una base de datos de firmas de referencia para tomar la decisión sobre la presencia o ausencia de ciertos materiales o compuestos en dicho objeto.

50 Se proporcionará ahora una descripción más detallada de los diversos componentes del sistema.

Fuente de partículas 500

55 El generador de partículas 100 es excitado por una unidad de suministro de potencia pulsada 200 para generar impulsos cortos 140 de partículas energéticas.

Estos impulsos 140 son generados bajo demanda tras un disparo de control suministrado por una unidad de control 300. En todos los demás momentos, el sistema completo 500 está en una condición de "apagado".

60 El generador de partículas 100 está contenido en una cámara de vacío 150 que contiene un par de electrodos espaciados, es decir, un electrodo de emisión 110 y un electrodo 120 que hace de anticátodo.

Típicamente, la distancia entre los dos electrodos 110 y 120 es de unos pocos centímetros y la presión está comprendida entre 0,1 y 10 Pa.

65 Un excitador de alto voltaje 220 para el electrodo de emisión 110 está dispuesto en la unidad de suministro de

potencia 200 y se le utiliza para activar dicho electrodo aplicando un impulso de voltaje adecuado 225 entre un par de elementos de electrodo (no mostrados) que pertenecen a dicho electrodo y que forman una fuente de iones de descarga en plasma.

5 Se crea así un plasma de baja presión con una densidad de plasma de un orden de magnitud de 10^{13} partículas/cm³ o más en la proximidad del electrodo 110 y este plasma desarrolla a continuación una distribución espacial de partículas cargadas dentro de la cámara 150. Después de un retardo de tiempo predeterminado dt, se aplica un impulso de alto voltaje 215 generado en el generador de impulsos 210 dispuesto también en la unidad de suministro de potencia 200 entre los electrodos 110 y 120 con el fin de acelerar hacia el segundo electrodo 120 las partículas que tienen un signo de carga predeterminado contenidas en el plasma.

10 El retardo de tiempo dt se selecciona en función del nivel de voltaje del impulso 225 de disparo de plasma, el impulso 215 de voltaje de aceleración, la geometría del diodo formado por los dos electrodos 110 y 120 y la presión dentro de la cámara 150.

15 La unidad de control 300 es capaz de disparar el excitador 220 y a continuación el generador 210 según el retardo de tiempo anterior.

20 El comando sincronizado controla el suministro 210 de impulsos de alto voltaje para iniciar la aplicación de un voltaje 215 de impulso adecuado, después de un retardo de tiempo dt, entre los dos electrodos 110 y 120 de modo que se extraiga un haz de partículas cargadas del plasma.

25 Según un aspecto de la invención, el generador 210 de impulsos de alto voltaje comprende de una manera conocida *per se* un circuito de multiplicación de voltaje seguido por un circuito de compresión de impulsos (no mostrado).

30 Más particularmente, una fuente de voltaje de la red eléctrica, tal como 220 V, 50 Hz, se incrementa primero en 30 kV utilizando una unidad inversora electrónica convencional. Este voltaje se utiliza para alimentar un circuito Marx de 4 etapas sensible a un control de disparo para producir un impulso de voltaje de 120 kV. Este voltaje se utiliza entonces para cargar un circuito de conformación de impulsos con el fin de producir un impulso de 5 ns a 120 kV. La salida de este circuito de conformación de impulsos se acopla a un transformador de impulsos, proporcionando un impulso de voltaje final de 5 ns a 720 kV.

35 Tras la aplicación del impulso 215, las partículas cargadas contenidas en el plasma se aceleran para formar un haz cargado con una corriente alta (típicamente, más de 1 kA) que incide sobre el electrodo 120 que sirve como electrodo anticátodo con una energía que puede alcanzar 500 keV o más, produciendo así un flujo de partículas altamente energéticas como resultado de una reacción nuclear inducida por partículas cargadas.

40 Se apreciará en este caso que el principio de funcionamiento de la fuente 500, en la que se produce un flujo de alta energía de partículas cargadas por la aplicación directa de un impulso de alto voltaje ultracorto 215 a los electrodos entre los que un plasma de iones está en un estado transicional, permite superar el límite de corriente de carga espacial de un diodo de vacío convencional. Por ejemplo, puede generarse un haz de partículas cargadas de impulso corto (<10 ns), corriente alta (>kA), alta energía (>700 keV).

45 Con la fuente de partículas como se ha descrito anteriormente, el flujo 140 de partículas energéticas 140 se emite de una manera isotrópica. Con el fin de generar un haz dirigido hacia el objeto 600 a analizar, se dispone un colimador adecuado 130.

50 Finalmente, se observará que la unidad de control 300 puede servir también como unidad de vigilancia, proporcionando información de control y de estado sobre todos los módulos de la fuente 500. Para esta finalidad, la unidad 300 está acoplada a un conjunto de sensores y/o detectores de seguridad para asegurar un enclavamiento de seguridad y un funcionamiento apropiado de la fuente 500.

55 Para operaciones de cribado de alta velocidad, la fuente 500 puede activarse repetidamente, por ejemplo de una a varias veces por segundo.

60 La fuente 500 puede utilizarse para generar diversos tipos de haces de partículas energéticas. En una forma de realización preferida de la invención, tales partículas son neutrones, los cuales son generados por el impacto de un haz de partículas de deuterones cargados energéticos de alrededor de 10 ns de duración a un valor actual de un orden de magnitud de kA, sobre un electrodo anticátodo 120 de aleación de litio, produciendo así un impulso 140 de 10 ns con más de 10^8 neutrones y proporcionando con ello una alta tasa de fluencia equivalente de 10^{16} neutrones/segundo con una amplia distribución de energía de hasta 14 MeV.

65 La fuente 500 como se ha descrito anteriormente permite detectar sustancialmente todos los fotones gamma y neutrones retrodispersados por el objeto en el espacio de una duración muy corta.

En comparación, un tubo neutrónico sellado convencional proporciona típicamente una pequeña cantidad de

neutrones en ráfagas de 10 milisegundos que tienen que repetirse a una frecuencia de 1 kHz o más para obtener una tasa de fluencia equivalente de 10^8 n/s, y se requieren varios minutos de funcionamiento para proporcionar suficientes datos de fotones gamma para análisis. Esto lleva a una dosis de radiación al menos 2 órdenes de magnitud mayor que la que se produce con la presente invención.

5 En un ejemplo no limitativo, a una distancia de 3 m, un objeto 600 con un área expuesta de 10 cm^2 recibirá un flujo de neutrones a una tasa equivalente de 10^{11} n/s del impulso único obtenido con la fuente 500 de la presente invención.

10 Unidad de detección 400

Como se muestra en la figura 2, la unidad de detección 400 comprende una parte 410 de detección de fotones gamma que comprende una agrupación ordenada de detectores (tres en el presente ejemplo) 411, 412, 413.

15 Cada detector está conectado a un fotomultiplicador 431, 432, 433 por medio de una respectiva fibra óptica 421, 422, 423.

20 Cada detector comprende preferiblemente un escintilador de plástico convencional (por ejemplo del tipo NE102A bien conocido) de área superficial apropiada seleccionado para que sea sensible tanto a fotones gamma como a neutrones, y emite una señal que representa los fotones gamma y los neutrones retrodispersados desde el objeto 600 cuando es expuesto al haz 140 generado por la fuente 500.

25 El tamaño de cada escintilador es, por ejemplo, de 180 mm x 180 mm x 25 mm. Más generalmente, un tamaño grande de los escintiladores permite mejorar sustancialmente la relación señal/ruido.

30 Cada detector 411, 412 y 413 tiene una respuesta dentro de un espectro de energía específico y esto se obtiene preferiblemente colocando materiales (no mostrados) sobre la trayectoria de recorrido de los neutrones y los fotones gamma desde el objeto 600 hasta el respectivo detector, actuando estos materiales como filtro de paso de banda de energía en diferentes rangos de energía para cada detector 411, 412 y 413.

35 Por tanto, la amplitud de salida de cada detector está relacionada con el contenido espectral dentro de ese rango, y los detectores 411, 412 y 413 proporcionan respectivas señales A, B y C indicativas de una cantidad de radiación/partículas recibidas.

40 Se apreciará que, conectando los escintiladores a los fotomultiplicadores a través de fibras ópticas, los fotomultiplicadores pueden colocarse a cierta distancia de la fuente de radiación y blindarse frente al efecto de partículas energéticas y radiación electromagnética que generan ruido en dichos fotomultiplicadores.

45 Los fotomultiplicadores 431, 432 y 433 funcionan en modo de detección de corriente para permitir la medición en tiempo real de la evolución de los fotones/partículas que inciden sobre los respectivos escintiladores.

50 A este respecto, en lugar de medir la energía de fotones gamma o neutrones individuales, se registra en función del tiempo la señal de corriente producida por la recogida de partículas y fotones que llegan a un detector dado 411, 412 ó 413.

55 Por tanto, se evita el problema convencional de amontonamiento de impulsos cuando las partículas inciden sobre el escintilador dentro de un intervalo de tiempo muy corto, dando como resultado errores de recuento.

60 Las salidas de señales de los fotomultiplicadores 431, 432 y 433 se suministran a convertidores analógico a digital globalmente referenciados con 440 para proporcionar una corriente de datos digitales correspondiente representativa de los fotones/partículas recibidos del objeto irradiado 600 en función del tiempo en diferentes bandas de energía.

65 Como ejemplo, puede utilizarse un digitalizador de transitorios TDS3034 Tektronix de 4 canales con una tasa de muestreo máxima de 2,5 GS/s y una profundidad de memoria de datos máxima de 10 k muestras.

Preferiblemente, los datos digitalizados se registran durante, por ejemplo, 20 μs después de que se aplique al objeto cada impulso de partículas 140, con una tasa de muestreo de 2 ns a lo sumo para mantenerse dentro de la profundidad de memoria del digitalizador.

Las señales proporcionadas por la unidad de detección 400 combinan los resultados de algunos modos de interacción de neutrones en los materiales del objeto 600, incluyendo reacciones elásticas, inelásticas y capturadas, que tienen lugar en respuesta al único impulso neutrónico ultracorto 140 de alta energía y que llevan a la emisión de fotones gamma o neutrones.

Más particularmente, la unidad de detección 400 detecta fotones gamma instantáneos y retardados generados a

partir de neutrones rápidos y térmicos, así como neutrones retrodispersados o emitidos desde la muestra, durante diferentes periodos después de que se dispare el corto impulso neutrónico único.

5 En la figura 3 se da un ejemplo de una temporización típica de detección de señales en relación con la generación de impulsos neutrónicos.

10 En este ejemplo, se emite en un ángulo sólido de 4π un único impulso P1 de alrededor de 10^8 neutrones que tiene una duración de 10 ns. Un impulso secundario de fotones gamma P2 se emite también con un ligero desplazamiento en el tiempo y una duración ligeramente más larga. Este impulso gamma P2 se genera como resultado de la interacción del impulso de neutrones P1 con el entorno inmediato del anticátodo de generación de neutrones, así como dentro del propio anticátodo.

15 Los bloques A1 y A2 corresponden respectivamente a los neutrones del impulso P1 que llegan a un anticátodo localizado a una distancia de 1 metro de la fuente y a los fotones gamma del impulso P2 que llegan a dicho anticátodo.

Las señales detectadas como se muestra en la parte inferior de la figura 3 son como sigue:

- 20 - inicialmente, las señales recogidas S1 son debidas a una fracción del impulso gamma P2 que llega directamente a los detectores;
- esto va seguido estrechamente por las señales S2 que se originan a partir de cierta cantidad del impulso gamma P2 retrodispersada desde el objeto 600;
- 25 - unas pocas decenas de nanosegundos más tarde, las señales recibidas S3 están compuestas por fotones gamma de alta energía producidos cuando unos neutrones de alta energía se desplazan directamente a través del objeto 600 y tienen colisiones no elásticas con los núcleos del material o materiales de objeto; el impulso de neutrones muy corto P1 y la velocidad de desplazamiento relativamente lenta (un neutrón de 10 MeV se desplaza aproximadamente 4,4 cm en un nanosegundo) permiten una buena discriminación espacial; además, la alta intensidad del flujo de neutrones lleva a una buena relación señal a ruido de los detectores;
- 30 - la última parte de las señales S3 son fotones gamma generados a partir de la interacción con el objeto 600 de una gran cantidad de neutrones retardados resultantes de la dispersión de los neutrones no colimados en la fuente;
- 35 - estas señales son seguidas (escala de tiempo del orden del microsegundo) por señales S4 correspondientes a neutrones retrodispersados desde el objeto;
- 40 - las últimas señales detectadas (después de diez microsegundos o más, no mostradas) resultan de los fotones gamma capturados producidos a partir de neutrones que han sido "termalizados" en el colimador de fuente, así como a partir de la muestra y su entorno. Estos neutrones térmicos son capturados por los núcleos del material o materiales de objeto, que generan a su vez fotones gamma.

45 Muchas de estas interacciones son aplicables a una amplia variedad de elementos/compuestos. Por tanto, registrando las señales detectadas en un largo periodo de tiempo (típicamente, decenas de microsegundos) después del inicio del impulso neutrónico 140, se obtienen señales muy significativas, especialmente cuando se considera la evolución a lo largo del tiempo.

50 Preferiblemente, un circuito de ajuste de ganancia se incorpora en cada uno de los conjuntos detectores (escintilador + fibras ópticas + fotomultiplicador) con el fin de compensar las variaciones en la eficacia de acoplamiento entre el escintilador y una fibra óptica.

55 Además, los conjuntos detectores se calibran transversalmente de forma ventajosa tomando un conjunto de mediciones sin los filtros de energía delante de los detectores y, a continuación, con filtros de energía idénticos en todos los detectores.

60 Todas las unidades de detección son calibradas de la misma manera y la ganancia de cada unidad se ajusta de modo que la variación en la salida de señales entre todas las unidades esté dentro de un rango dado (por ejemplo, un factor de dos a lo sumo).

La calibración se puede llevar a cabo con una fuente de luz pulsada de referencia acoplada a una pluralidad de fibras ópticas, cada una acoplada a un respectivo fotomultiplicador. De esta manera, cada fotomultiplicador se iluminará por la misma fuente de luz de calibración a través de un acoplamiento de fibra óptica idéntico.

65 Un procedimiento de calibración automático puede realizarse también con una o varias muestras de materiales bien definidos, por ejemplo materiales orgánicos, tales como melamina y polieteno. Tal procedimiento permite compensar

posibles derivas en la sensibilidad de los detectores

Unidad de procesamiento de datos 800

5 La unidad de procesamiento de datos 800 comprende una potencia de procesamiento de señales adecuada para la pluralidad de señales A, B y C recibidas de la unidad de detección 400.

10 Preferiblemente, tal procesamiento implica aplicar un conjunto predeterminado de algoritmos a dichas señales, incluyendo su evolución a lo largo del tiempo con el fin de generar una firma asociada con cada objeto 600 analizado.

15 Una vez que se ha analizado un objeto, su firma se aplica a una base de datos para comparación con un conjunto de firmas de referencia correspondientes a diferentes materiales o compuestos o sustancias conocidos, de modo que la presencia de algunos de tales materiales o compuestos o sustancias pueda identificarse y, posiblemente, cuantificarse con rapidez.

20 Preferiblemente, la unidad 800 está programada para proporcionar a un operario respuestas simples sí/no para diferentes tipos de materiales o compuestos o sustancias en un tiempo de respuesta muy corto (los tiempos de procesamiento típicos serán a partir de una fracción de segundo a varios segundos con la capacidad de procesamiento del estado de la técnica).

Aunque la presente invención se ha descrito con respecto a ejemplos de realización de la misma, se entenderá por los expertos en la materia que pueden hacerse en ellos muchas variaciones y modificaciones.

25 Como se indica en lo expuesto anteriormente, aunque las aplicaciones típicas de la presente invención son chequeos de seguridad para equipajes de aeropuertos y detección de objetos enterrados tales como minas terrestres y minas antipersonal, la presente invención puede tener otras numerosas aplicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de detección que comprende:

- 5 - una fuente de partículas (500) para generar un flujo pulsado (140) de partículas energéticas y para dirigir dicho flujo hacia un objeto (600) a analizar, estando destinadas dichas partículas a reaccionar con núcleos de material o materiales en dicho objeto,
- 10 - una unidad de detección (400) que comprende al menos tres conjuntos detectores (411, 421, 431; 412, 422, 432; 413 423, 433), y
- 15 - una unidad de procesamiento de datos (800) conectada a las salidas de dichos detectores, capaz de generar una firma a partir de dichas señales después de la aplicación de dicho flujo pulsado a dicho objeto, incluyendo características de señal relacionadas con el tiempo, y para comparar dicha firma con firmas de referencia almacenadas,

caracterizado porque:

- 20 - las partículas energéticas incluyen tanto neutrones como fotones gamma, y
- los conjuntos detectores son sensibles a neutrones y fotones gamma que proceden de dicho objeto y que inciden sobre el mismo en respuesta a dicho flujo de partículas energéticas, siendo cada uno sensible a un rango diferente de energía, y están concebidos para funcionar en modo de detección de corriente para suministrar señales de corriente representativas de los fotones gamma y neutrones incidentes a lo largo del tiempo.

2. Sistema según la reivindicación 1, en el que cada conjunto detector comprende un respectivo filtro de paso de banda de energía, y cada filtro de paso de banda posee una respuesta en un espectro de energía diferente.

3. Sistema según la reivindicación 1 ó 2, en el que cada conjunto detector comprende un escintilador (411; 412; 413) acoplado a un fotomultiplicador (431; 432; 433) por medio de fibras ópticas (412; 422; 423).

4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha fuente de partículas comprende:

- 35 - un primer y un segundo electrodo (110, 120),
- una fuente de iones de plasma en el primer electrodo,
- un excitador (220) de la fuente de iones de plasma para permitir que se desarrolle un plasma ionizado que contiene deuterones hacia el segundo electrodo,
- 40 - unos medios (210) para aplicar entre dichos electrodos un corto impulso de alto voltaje en un momento en el que dicho plasma ionizado está en un estado transicional con una distribución espacial de deuterones a cierta distancia de dicho segundo electrodo, para acelerar dichos deuterones hacia dicho segundo electrodo mientras se supera el límite de corriente de carga espacial de un diodo de vacío convencional,
- 45 - formando dicho segundo electrodo (210) un anticátodo portador de litio para generar dichos neutrones en dicho segundo electrodo por interacción de deuterones/litio, e
- interactuando dichos neutrones con dicho anticátodo para producir fotones gamma.

5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dichos neutrones tienen una energía de al menos 3 MeV.

6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dichos neutrones tienen una energía de al menos 5 MeV.

7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dichos neutrones tienen una energía de al menos 8 MeV.

8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las señales suministradas por los conjuntos detectores corresponden a un único impulso de partículas procedentes de dicha fuente.

9. Método para detectar propiedades de materiales, sustancias o compuestos contenidos en objetos, en el que un flujo pulsado de partículas energéticas se aplica a un objeto a analizar, estando destinadas dichas partículas a reaccionar con núcleos de material o materiales en dicho objeto,

caracterizado porque las partículas energéticas incluyen tanto neutrones como fotones gamma, y el método comprende además las siguientes etapas:

- 5 - detectar neutrones y fotones gamma que proceden de dicho objeto en respuesta a dicha aplicación en modo de detección de corriente en al menos tres rangos de energía, en el que cada rango de energía es diferente de los otros, para suministrar señales de corriente representativas de neutrones y fotones gamma incidentes a lo largo del tiempo,
 - 10 - suministrar señales resueltas en el tiempo representativas de neutrones y fotones gamma así detectados,
 - generar una firma a partir de dichas señales, incluyendo a partir de características de dichas señales correlacionadas con el tiempo, y
 - 15 - comparar dicha firma con firmas de referencia almacenadas.
10. Método según la reivindicación 9, en el que dichas partículas son neutrones con una energía de al menos 3 MeV.
- 20 11. Método según la reivindicación 9 ó 10, en el que dichas partículas son neutrones con una energía de al menos 5 MeV.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que dichas partículas son neutrones con una energía de al menos 8 MeV.

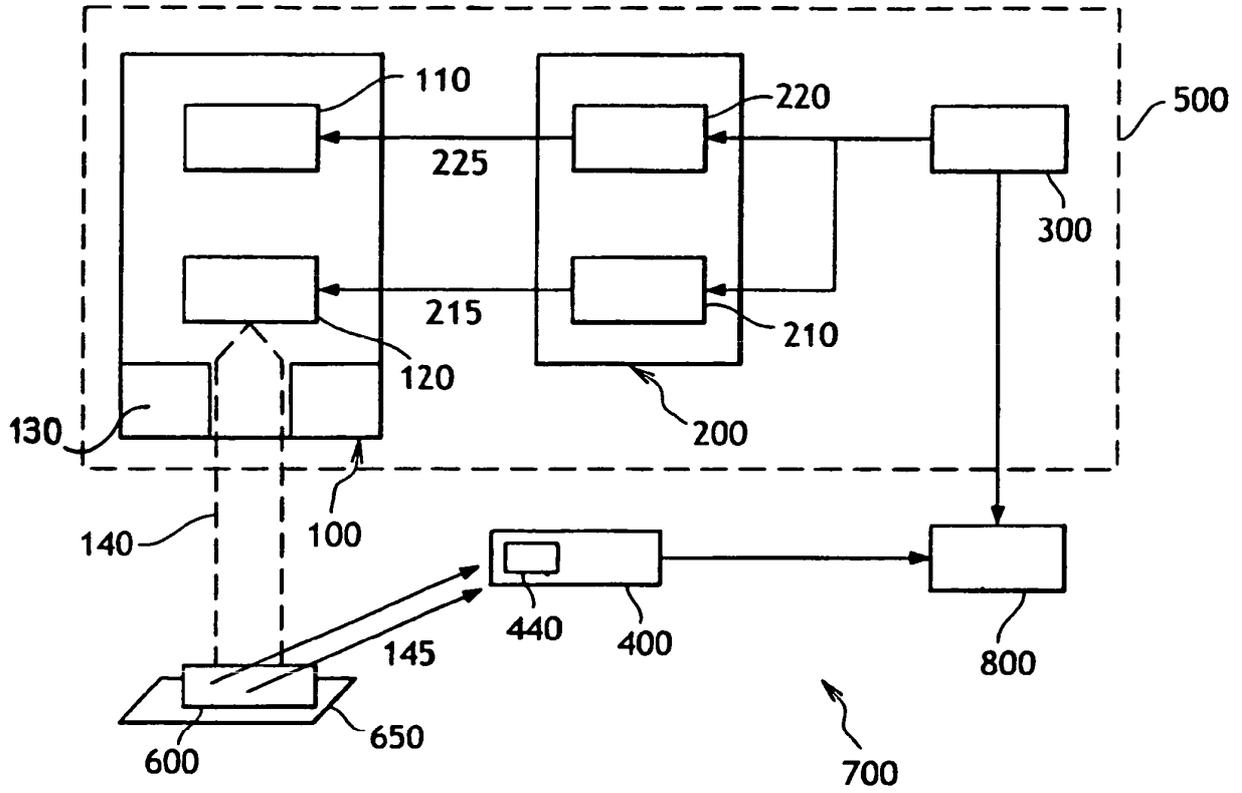


FIG.1

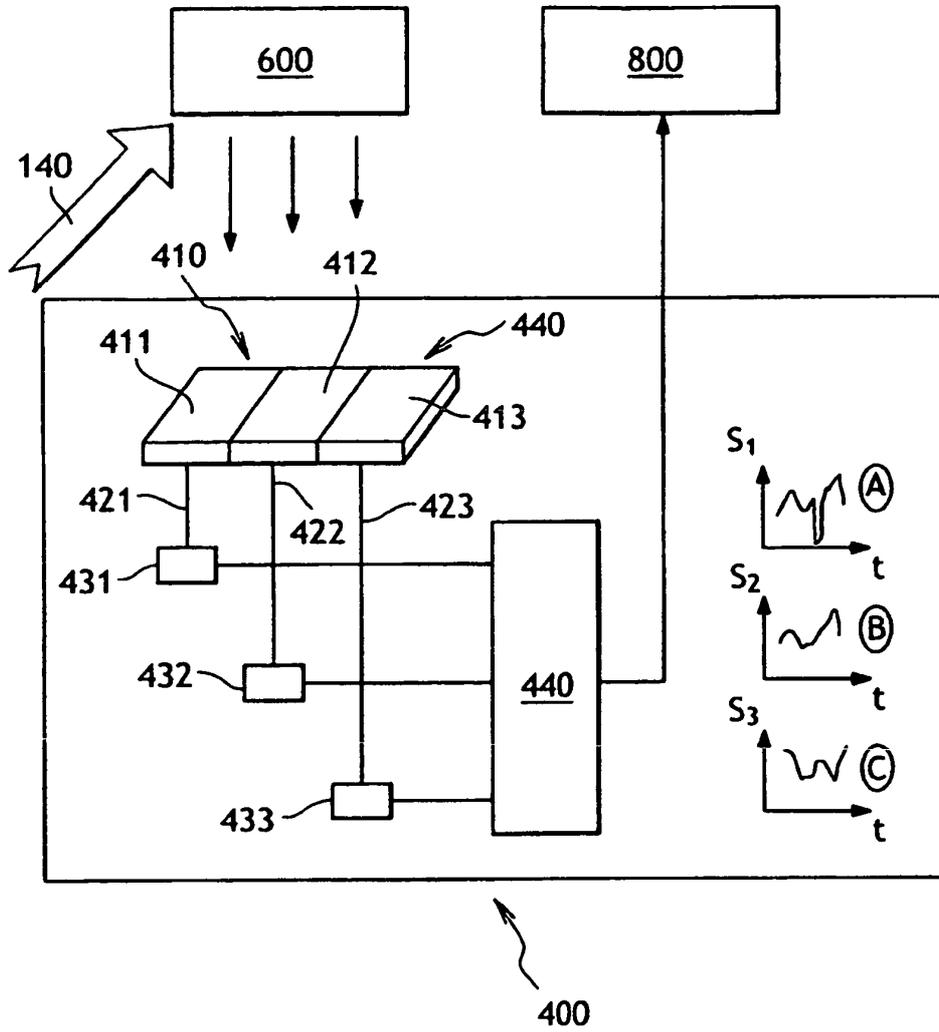


FIG.2

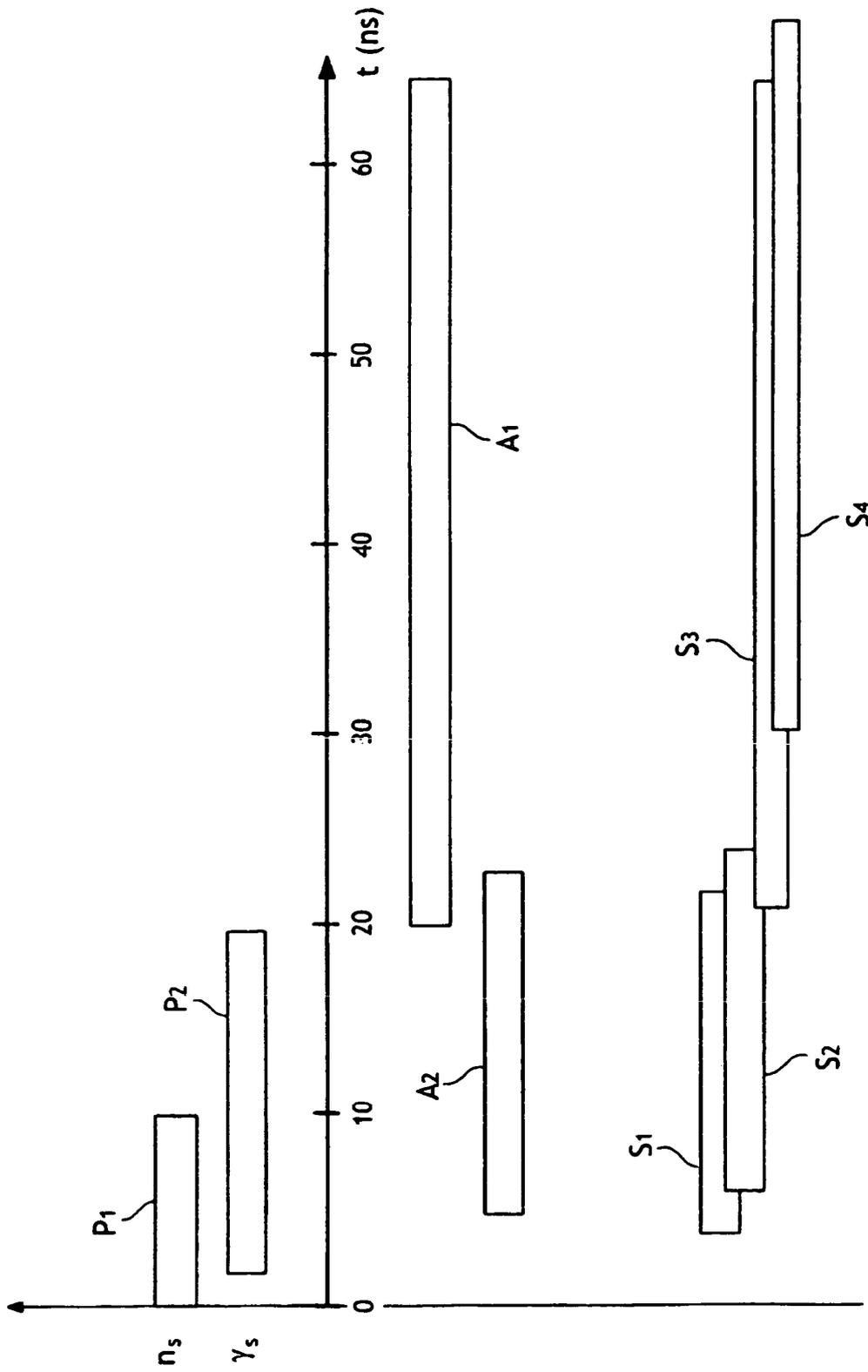


FIG.3