

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 941 513**

51 Int. Cl.:

G01J 1/42 (2008.01)

G01K 17/00 (2008.01)

G01J 5/12 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2018 PCT/EP2018/066474**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2018 WO18234406**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2018 E 18733247 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2023 EP 3642574**

54 Título: **Detector rápido de radiación electromagnética**

30 Prioridad:

23.06.2017 IT 201700070601

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

23.05.2023

73 Titular/es:

**LASER POINT S.R.L. (100.0%)
Via Burona 51
20055 Vimodrone (MI), IT**

72 Inventor/es:

**SCORTICATI, DAVIDE;
PELLEGRINO, SERGIO y
CRAPELLA, GIACOMO**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 941 513 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

Detector rápido de radiación electromagnética

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un detector rápido de radiación electromagnética, particularmente de radiación láser.

[0002] Los detectores rápidos de radiación láser hoy en día están representados principalmente por fotodiodos, sensores piroeléctricos y dispositivos termoelectrónicos axiales. Los dispositivos termoelectrónicos se subdividen en dos
10 grupos diferentes: los dispositivos que utilizan el efecto termoelectrónico longitudinal estándar inducido en la unión de diferentes tipos de materiales y los dispositivos basados en el efecto de voltaje transversal inducido por láser (LITV).

[0003] La principal ventaja de los fotodiodos sobre otros tipos de sensores es la respuesta más rápida en el tiempo. Basándose en el mecanismo de recombinación de pares electrón-hueco en uniones P-N, se puede lograr un
15 tiempo de respuesta de subnanosegundos mediante dispositivos que utilizan este principio físico. Por otra parte, la alta sensibilidad de estos dispositivos permite la medición de haces de láser de onda continua de potencia extremadamente baja y pulsos de láser individuales. En contraste, la alta sensibilidad implica un bajo umbral de saturación al medir la radiación láser. La respuesta de los fotodiodos adolece de falta de uniformidad espacial y de la dependencia de la temperatura de funcionamiento y de la longitud de onda de la radiación incidente. Además, la banda
20 espectral de trabajo está limitada físicamente por la brecha energética de los semiconductores en uso.

[0004] Los sensores basados en el efecto piroeléctrico transducen un gradiente térmico en una señal eléctrica. Es decir, el cambio de polarización debido a un gradiente térmico da lugar a un voltaje a través del cristal. Por un lado, los sensores piroeléctricos tienen la ventaja sobre los fotodiodos de ser de banda ancha (es decir, de UV a THz)
25 beneficiándose de su naturaleza térmica. Además, también combinan la alta sensibilidad (que puede ser mayor o igual a 1000 V/W) con la posibilidad de adaptarse en su diseño para pulsos de alta energía. Por otro lado, los sensores piroeléctricos están limitados a tasas de repetición láser relativamente bajas (actualmente hasta 200 kHz) y la incapacidad de medir la radiación láser de onda continua (CW - continuous wave), debido a la corriente de fuga natural a través del material activo. De hecho, el principio de funcionamiento de los materiales piroeléctricos, basado en la
30 respuesta a los cambios transitorios de temperatura, permite solo mediciones de pulsos a cuasi-CW, pero no puramente CW o fuentes de láser de pulsos largos.

[0005] Los sensores basados en el efecto termoelectrónico longitudinal estándar se diseñan comúnmente adoptando múltiples termopares interconectados eléctricamente, que pueden medir un flujo de calor axialmente a
35 través de un sustrato adecuado. Este tipo de sensores que usan el efecto termoelectrónico estándar son una evolución del diseño de termopila radial común descrito en el documento US 5678924. Trabajando sobre un principio térmico, la región de aceptación espectral de este tipo de sensores sigue siendo de banda ancha. Sin embargo, el diseño térmico de este tipo de sensores solo permite tiempos de respuesta relativamente bajos (actualmente superiores a 10 ms). Además, el diseño de múltiples termopares axiales a menudo implica una cobertura escasa del área activa del sensor
40 (como se describe en el documento WO2016128247).

[0006] Los sensores que usan el efecto de voltaje transversal inducido por láser (LITV - Laser Induced Transverse Voltage) también transducen un gradiente térmico en una señal eléctrica. Se sabe que las películas delgadas de materiales adecuados (por ejemplo, Bi, Bi₂Te₃, Al:ZnO, Sb), depositadas con un ángulo inclinado entre la
45 fuente de evaporación y el sustrato, muestran una respuesta termoelectrónica transversal a la irradiación con láser. Es decir, si está presente un gradiente térmico a lo largo de la dirección normal a la superficie de la película, se genera una respuesta termoelectrónica, longitudinalmente al plano de la superficie de la película. La intensidad de la señal eléctrica generada, extraíble a lo largo del plano longitudinal, tiene una dirección bien definida y es paralela a la proyección de los granos en ángulo del material activo de película delgada que crece sobre el sustrato, mostrando un
50 mínimo en la dirección perpendicular coplanar.

[0007] La adopción del efecto LITV tiene la ventaja intrínseca de mostrar una buena eficiencia de conversión de una señal térmica en un voltaje eléctrico, al tiempo que muestra tiempos de respuesta en la escala de tiempo de nanosegundos. Además, la fabricación del dispositivo resulta más controlable ya que requiere menos etapas
55 tecnológicas, lo que resulta, por tanto, más barato y simplificado. Otra ventaja de los dispositivos basados en LITV sobre los dispositivos termoelectrónicos estándar es la cobertura uniforme del área activa, con respecto a un diseño basado en termopares dispuestos axialmente.

[0008] La ventaja de los sensores que utilizan el efecto LITV sobre los sensores piroeléctricos y los fotodiodos para la medición de la radiación láser es la combinación de un tiempo de respuesta rápido general, aceptación
60 espectral de banda ancha, alto umbral de saturación para dirigir la irradiación láser y la posibilidad de medir fuentes de láser pulsado y CW. Además, el área activa de los sensores basados en LITV no tiene limitaciones de tamaño, en comparación con los fotodiodos rápidos y los sensores piroeléctricos, al tiempo que se mantiene la uniformidad de la deposición de la película activa.

65

[0009] Aunque los sensores basados en el efecto LITV son muy prometedores en el área tecnológica de la detección de energía/potencia de radiación láser, se plantea una limitación por el requisito desventajoso de aleaciones complejas, a menudo compuestas por materiales tóxicos, para la producción de la capa activa, como los sensores de los documentos US 2011/0024604 A1, US 2011/0291012 A1, US 2014/0091307 A1 o US 2014/0091304 A1.

5 **[0010]** Además, los procedimientos de fabricación descritos por las patentes anteriores (US 2011/0024604 A1, US 2011/0291012 A1, US 2014/0091304 A1 y US 2014/0091307 A1) describen el crecimiento de tipo epitaxial de la capa termoeléctrica casi emparejada en red inclinada activa sobre el sustrato cristalino. Este enfoque plantea fuertes limitaciones con respecto a los materiales utilizables para la película activa y el sustrato, es decir, solicita pares de
10 materiales casi emparejados en red, como lo demuestran claramente las imágenes TEM en el documento US 2011/0024604 A1, y ampliamente conocido a partir de la literatura técnica. Además, el documento US 2004/0102051 A1 describe diferentes realizaciones de procedimientos de fabricación basados en el uso de la capa de siembra y estructuras inclinadas artificiales para forzar la deposición en el plano cristalino preferido del material termoeléctrico, restringido a compuestos V-VI.

15 **[0011]** De hecho, dentro de las solicitudes de patente mencionadas anteriormente, existe el requisito de una configuración atómica determinada del sustrato (es decir, un material específico con un plano cristalográfico específico), o la presencia de una capa tampón de siembra adicional nuevamente con una configuración atómica determinada entre la capa activa y el sustrato. Dicha estructura atómica determinada de la capa tampón de siembra
20 es necesaria para influir en un crecimiento epitaxial de una película altamente cristalina con un ángulo específico con respecto al sustrato durante la deposición de la película activa, añadiendo complejidad a la fabricación, así como una etapa de procesamiento suplementaria y crítica.

[0012] En particular, el documento US 2011/0024604 A1 describe un procedimiento para hacer crecer películas
25 inclinadas de Ca_xCoO_2 sobre dos planos específicos del sustrato de A_2O_3 , específicamente el plano n y el plano s, que generan ángulos de inclinación de los planos de Ca_xCoO_2 de 62° y 70° respectivamente, con respecto a la superficie del sustrato.

[0013] El documento US 2011/0291012 A1 divulga diferentes realizaciones, mientras que el crecimiento de la
30 capa termoeléctrica inclinada activa todavía depende de la estructura atómica del sustrato. De hecho, el documento US 2011/0291012 A1 describe que, "el ángulo de inclinación α de los planos cristalinos 35 de la película delgada inclinada 32 se determina según el ángulo de inclinación β de los planos de bajo índice 34 del sustrato inclinado 31, y α satisface $\alpha = \beta + \theta$, donde θ es de 0 a 10 grados".

35 **[0014]** El documento US 2014/0091304 A1 describe un procedimiento de fabricación de películas termoeléctricas inclinadas a partir de los grupos de cuprato de bario y disprosio ($\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$), cobaltato de sodio y estroncio ($\text{Sr}_{0.3}\text{Na}_{0.2}\text{CoO}_2$) y cobaltato de estroncio ($\text{Sr}_3\text{Co}_4\text{O}_9$), que requieren una capa intermedia de tampón de siembra de materiales tales como óxido de magnesio (MgO), zirconia estabilizada con itrio (YSZ) y óxido de cerio (CeO_2). La capa tampón de siembra debe tener una estructura de grano columnar con eje cristalino (eje c) inclinado
40 en un ángulo α en la dirección de entre aproximadamente 10 grados y aproximadamente 45 grados, en relación con una normal a la superficie del sustrato.

[0015] En el documento US 2004/0102051 A1, de nuevo se adopta una capa de siembra con el fin de orientar los granos del material termoeléctrico activo con respecto a la superficie del sustrato. Además, el documento US
45 2004/0102051 A1 describe el uso de materiales activos similares para fabricar su dispositivo, no solo requiere una capa de siembra sino también un tratamiento de recocido posterior a la deposición adicional para orientar el eje c de la capa termoeléctrica en un ángulo adecuado. Esto último añade una complejidad adicional a la fabricación, reduciendo la robustez del proceso industrial general.

50 **[0016]** Además, el documento US 2004/0102051 A1 divulga en una realización el uso de estructuras en forma de tejas grabadas en la superficie del sustrato de silicio, que luego deben cubrirse con un óxido. El sustrato se hace girar entonces con el mismo ángulo de las estructuras con respecto a la fuente de evaporación, con el fin de obtener un crecimiento más rápido de granos verticales con respecto a las estructuras grabadas. Esos granos tienen entonces un ángulo con respecto a la superficie original del sustrato. Nuevamente, el procedimiento descrito añade complejidad
55 adicional a la fabricación, reduciendo la robustez del proceso industrial general.

[0017] En vista del estado de la técnica, un objeto de la presente invención es proporcionar un detector rápido de radiación láser que sea diferente de la técnica anterior y supere las desventajas de la técnica anterior, es decir, que no haga uso de ninguna capa de siembra, no necesite sustratos orientados altamente cristalinos y no solicite la
60 formación de estructuras artificiales sobre el sustrato.

[0018] Según la presente invención, dicho objeto se consigue por medio de un detector de radiación electromagnética como se define en la reivindicación 1.

65 **[0019]** La presente invención describe un detector rápido de radiación láser que es fácil de producir, fiable, y

se basa en el efecto LITV para la medición de radiación láser directa. Su uniformidad de respuesta en toda el área activa del sensor no varía dentro de un amplio intervalo de rugosidad del sustrato, lo que determina una estabilidad robusta del proceso.

5 **[0020]** El detector según la presente invención es capaz de medir la energía de pulsos láser individuales con frecuencias de repetición hasta el intervalo de MHz, añadiendo la posibilidad de medir también la potencia de salida de los láseres CW. Además, la naturaleza térmica del sensor permite la capacidad de trabajar en un espectro de banda ancha, de UV a THz, así como la posibilidad de operar en un amplio intervalo (10^{-3} - 10^2 W/cm²) de densidades de potencia óptica incidentes de la radiación láser RL, sin la necesidad de adoptar filtros ópticos u otras precauciones.

10 **[0021]** Además, el detector de radiación láser permite un tiempo de aumento rápido del orden de 10^{-10} s.

[0022] El detector según la presente invención comprende un sustrato de un material cerámico adecuado sin el requisito de un plano cristalográfico específico, por ejemplo, cerámica sinterizada, tal como nitruro de aluminio (AlN),
15 nitruro de silicio (Si₃N₄), carburo de silicio (SiC), nitruro de boro (BN), carburo de boro (B₄C), alúmina (Al₂O₃) u óxido de berilio (BeO). Alternativamente, se puede usar un sustrato metálico, previamente pasivado por una capa policristalina delgada dieléctrica de cerámica provista de un buen coeficiente de conducción térmica (por ejemplo, AlN, Si₃N₄, SiC, BN, B₄C, Al₂O₃, BeO).

20 **[0023]** En un lado del sustrato, se deposita un elemento activo policristalino delgado (0,1 - 5 μm) de un material termoeléctrico seleccionado (por ejemplo, Bi, Bi₂Te₃, Al:ZnO, Sb) con orientación cristalina en un primer ángulo entre 30° y 55°, con un óptimo a 45°. El sustrato no está orientado como la capa policristalina delgada.

[0024] El elemento activo no es altamente cristalino, sino que es altamente multicristalino. La adopción de la
25 técnica GLAD para fabricar la película activa del sensor permite el uso de sustratos sin una configuración atómica específica, tales como capas cerámicas sinterizadas sin la necesidad de depositar capas de siembra con configuraciones atómicas específicas ni un procedimiento de lapeado costoso para controlar su rugosidad superficial, añadiendo robustez al procedimiento de fabricación industrial.

30 **[0025]** Formada en la parte superior del material activo, se adopta una capa de adhesión delgada (< 20 nm) que consiste en Ti entre el material activo y la capa de pasivación, compuesta de una película delgada de platino o paladio (80-100 nm) u óxido de titanio. Esta capa también se puede utilizar como capa de absorción para la radiación láser incidente.

35 **[0026]** Después, cuando sea necesario, se puede agregar una capa de absorción adicional de diferentes materiales (por ejemplo, SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, capas metálicas con textura negra o recubrimiento compuesto de nanotubos de carbono) y espesor variable (0-10 μm) tanto para absorber mejor diferentes intervalos de longitudes de onda como para aumentar el umbral de daño del sensor a la radiación láser.

40 **[0027]** En otra realización, la texturización del sustrato con ranuras adyacentes en forma de V en la misma dirección que la proyección de los granos inclinados de la capa activa sobre el sustrato, antes de la deposición de la capa activa, se puede adoptar para aumentar la absorción óptica de la radiación láser incidente.

[0028] El material activo, así como las capas posteriores, deben conformarse en forma de tiras adyacentes
45 estrechamente empaquetadas, aisladas eléctricamente. Las tiras deben ser paralelas a la dirección de la proyección de los granos inclinados sobre el sustrato.

[0029] Una capa conductora metálica en contacto eléctrico con la capa activa está configurada para
50 interconectar en serie o en paralelo las extremidades de las tiras de la capa activa formando un chip sensor.

[0030] El chip sensor se une entonces en su superficie posterior (la superficie posterior del sustrato) a un
dissipador de calor adecuado, ya sea mediante un adhesivo térmicamente conductor o mediante unión usando soldaduras metálicas.

55 **[0031]** Para una mejor comprensión de la presente invención, ahora se describen algunas realizaciones de la misma, puramente a modo de ejemplos no limitativos y con referencia a los dibujos adjuntos, donde:

La FIG. 1 es una vista en sección transversal de un detector rápido de radiación láser de acuerdo con una
realización de la presente invención;

60 La FIG. 2 es una vista superior de una disposición paralela de electrodos y material de capa del sensor con patrón para el detector de la FIG. 1;

La FIG. 3 es una vista superior de una disposición en serie de electrodos y una capa del sensor con patrón para el detector de la FIG. 1;

65 La FIG. 4 es una vista superior de otra disposición en serie de electrodos y capa del sensor con patrón para el detector de la FIG. 1;

La FIG. 5 es un gráfico de una señal de voltaje termoelectrico transversal en función del tiempo para el detector en la FIG. 2 en respuesta a la irradiación por un tren de pulsos de 4 nanosegundos a una frecuencia de repetición de 1 MHz, donde la capa activa es una capa de bismuto;

La FIG. 6 es un gráfico de la respuesta con respecto a la energía de pulso incidente del detector de la FIG. 2, donde la capa activa es una capa de bismuto;

La FIG. 7 es un gráfico del valor medido de la señal de voltaje de salida en función de la potencia de radiación láser CW incidente del detector en la FIG. 3, donde la capa activa es una capa de bismuto;

La FIG. 8a y la FIG. 8b son imágenes de microscopio electrónico de barrido de dos espesores diferentes de la capa activa sobre un sustrato cerámico del detector en la figura 1;

La FIG. 9 es una imagen de microscopio electrónico de barrido de la capa activa, depositada sobre un sustrato cerámico del detector en la figura 1, previamente texturizado con ranuras en forma de V.

[0032] Haciendo referencia a la Figura 1, se describe un detector rápido de radiación electromagnética, particularmente de radiación láser, según una realización preferida de la presente invención.

[0033] El detector rápido de radiación láser según la presente invención comprende un sustrato 1 que comprende una capa cerámica sin el requisito de una orientación de grano específica, donde como material cerámico se pretende un material altamente conductor térmicamente (superior a 100 W/mK) y dieléctrico con una alta temperatura de fusión (superior a 1800 °C). El sustrato 1 puede estar constituido por la única capa cerámica, preferentemente una capa cerámica sinterizada, por ejemplo, nitruro de aluminio sinterizado (AlN), nitruro de silicio sinterizado (Si_3N_4), carburo de silicio sinterizado (SiC), nitruro de boro sinterizado (BN), carburo de boro sinterizado (B_4C), alúmina sinterizada (Al_2O_3) u óxido de berilio sinterizado (BeO). De lo contrario, el sustrato puede comprender un sustrato metálico que ha sido previamente pasivado eléctricamente por una capa cerámica delgada orientada aleatoriamente con un buen coeficiente de conducción térmica (por ejemplo, AlN, Si_3N_4 , SiC, BN, B_4C , Al_2O_3 , BeO).

[0034] Preferentemente, la superficie superior 10 del sustrato 1 presenta una rugosidad R_a inferior a 2 μm .

[0035] En la superficie superior 10 del sustrato 1, se deposita una capa policristalina 2 con orientación cristalina en un ángulo α , preferentemente comprendido entre 30 y 55 grados, en relación con la normal A a la superficie superior 10 del sustrato 1. Es decir, la capa policristalina 2 tiene una estructura de grano columnar con un eje cristalino P inclinado en el ángulo α con respecto al eje normal A. La estructura cristalina orientada inclinada de la capa policristalina 2 necesita proporcionar el efecto termoelectrico deseado.

[0036] La capa policristalina 2 se deposita sobre la superficie superior 10 del sustrato 1 y no se hace crecer por medio de un crecimiento epitaxial. Por esta razón, el material del sustrato 1 no requiere una orientación de grano específica, como en la técnica anterior, y el sustrato 1 puede estar constituido por la única capa cerámica, preferentemente una capa cerámica sinterizada.

[0037] La capa policristalina 2 se deposita adoptando la técnica de deposición física de vapor (PVD) o la deposición física de vapor por haz de electrones (EBPVD) y colocando el sustrato 1 en el ángulo de inclinación α con respecto a la fuente de evaporación, por medio de la bien conocida técnica de deposición en ángulo oblicuo (GLAD). Esta última forma una estructura de grano altamente multicristalino inclinada de la capa activa depositada. La técnica GLAD está bien descrita en el Capítulo 13 - Glancing Angle Deposition, En Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings (Tercera Edición), editado por Peter M. Martin, William Andrew Publishing, Boston, 2010, Páginas 621-678, ISBN 9780815520313, <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-2031-3.00013-2>. Para obtener la capa policristalina 2 con orientación cristalina en el ángulo α , la presión parcial dentro de la cámara de deposición durante la evaporación debe estar en el intervalo de 10^{-3} - 10^{-7} mbar, la velocidad de deposición en el intervalo de 0,1-1000 nm/s y la temperatura del sustrato entre 293-500 K. Preferentemente, la capa policristalina 2 se deposita con orientación cristalina a 45 grados para obtener una deposición óptima.

[0038] La capa policristalina 2 es una capa delgada; preferentemente, el espesor de la capa policristalina 2 está comprendido entre 0,1 μm y 5 μm . La capa policristalina 2 representa la capa activa del detector rápido de radiación láser y el espesor mencionado anteriormente es adecuado para restaurar rápidamente el gradiente térmico a través de la capa policristalina 2.

[0039] El material de la capa policristalina 2 es un material seleccionado de un grupo de material termoelectrico que comprende, por ejemplo, bismuto (Bi), telururo de bismuto (Bi_2Te_3), óxido de zinc dopado con aluminio (Al:ZnO) o antimonio (Sb). Las Figuras 8a y 8b muestran dos capas activas de diferente espesor que se depositan sobre el sustrato 1.

[0040] La rugosidad R_a de la superficie superior del sustrato 1 ayuda a la adhesión de la capa de material activo 2 al sustrato 1 evitando la deslaminación y aumenta la reflexión difusa del detector.

[0041] Incluso se puede adoptar una rugosidad relativamente alta ($> 0,6 \mu\text{m}$) sin afectar a las propiedades termoelectricas transversales de las películas con un espesor inferior a 500 nm. De hecho, siempre que la orientación

media de los granos inclinados permanezca inalterada, la respuesta del sensor permanece globalmente estable, usando un punto con un diámetro $\gg R_a$.

[0042] Se forma una capa de adhesión 3 en la superficie superior de la capa policristalina 2; la capa de adhesión 3 tiene preferentemente un espesor inferior a 20 nm y preferiblemente consiste en titanio.

[0043] Una capa de pasivación 4, preferentemente una capa altamente no reactiva y de alta temperatura de fusión ($> 1000^\circ\text{C}$), se deposita sobre la superficie superior de la capa tampón 3; la capa de pasivación 4 tiene preferentemente un espesor que varía de 80 nm a 100 nm y preferiblemente consiste en platino o paladio u óxido de titanio.

[0044] La capa 3 está configurada para actuar como capa de adhesión entre la capa policristalina 2 y la capa de pasivación 4.

[0045] Una capa de contacto conductora metálica 5 se deposita sobre la capa 2 o sobre la capa 4 en el caso en que las capas 3 y 4 sean conductoras. La capa conductora metálica 5 está en contacto eléctrico con la capa policristalina 2. La capa conductora metálica 5 se deposita para formar dos contactos separados uno del otro; los contactos de una sola tira representan los electrodos 6, 7. El campo eléctrico transversal entre los electrodos da como resultado una tensión $V(t)$.

[0046] El material de la capa conductora metálica 5 puede ser oro (Au), cobre (Cu), plata (Ag) o molibdeno (Mo). Alternativamente, la capa conductora metálica 5 está hecha del mismo material de la capa activa, con el fin de evitar efectos de termopar en las uniones entre la capa activa y la conductora 5, que se suman en el caso de la interconexión en serie de las tiras, moviendo la línea base de la señal del voltaje de salida del sensor. Es decir, la capa de contacto conductora metálica 5 puede ser bismuto (Bi), telururo de bismuto (Bi_2Te_3), óxido de zinc dopado con aluminio (Al:ZnO) o antimonio (Sb).

[0047] El chip del sensor se une entonces en su lado posterior, es decir, la superficie posterior 12 del sustrato 1, a un disipador de calor adecuado 20 usando una pasta/almohadilla adhesiva térmicamente conductora o mediante una soldadura metálica.

[0048] La capa de pasivación 4 puede actuar directamente como capa absorbente para la radiación UV-NIR (por debajo de $1,1 \mu\text{m}$ de longitud de onda) cuando se requiere una respuesta rápida (por ejemplo, $> 500 \text{ MHz}$).

[0049] Se sabe que las películas delgadas de materiales adecuados (por ejemplo, Bi, Bi_2Te_3 , Al:ZnO, Sb), depositadas con un ángulo inclinado entre la fuente de evaporación y el sustrato, muestran una respuesta termoeléctrica transversal a la irradiación con láser. Es decir, si está presente un gradiente térmico a lo largo de la dirección normal a la superficie de la película, se genera una respuesta termoeléctrica longitudinalmente al plano de la superficie de la película.

[0050] La intensidad de la señal eléctrica generada, extraíble a lo largo del plano longitudinal, tiene una dirección bien definida y es paralela a la proyección de los granos en ángulo de la película de material activo que crece sobre el sustrato, mostrando un mínimo en la dirección perpendicular coplanar.

[0051] El sensor actúa como un generador de fuerza electromotriz (f.e.m.) cuando es irradiado por un láser de radiación RL. Su señal es proporcional al gradiente de temperatura formado entre la superficie externa de la película activa y su interfaz con el sustrato.

[0052] La respuesta del sensor puede expresarse mediante la fórmula:

$$V(t) \propto \sin(2\alpha) \cdot (S_{\parallel} - S_{\perp}) \cdot \Delta T(t),$$

donde α , S_{\parallel} , S_{\perp} y ΔT son, respectivamente, el ángulo de inclinación de los granos de la capa activa 2 con respecto a la dirección normal al plano del sustrato, el coeficiente de Seebeck en la dirección paralela a la proyección de los granos angulados de la capa activa 2 sobre la superficie del sustrato 10, el coeficiente de Seebeck perpendicular a la superficie del sustrato 10 y el gradiente de temperatura a través de la película.

[0053] Preferentemente, el detector rápido según la invención debe tener un patrón en una única tira 100 o una pluralidad de tiras 100, preferiblemente en forma de tiras adyacentes estrechamente empaquetadas y eléctricamente aisladas como se ilustra en las Figuras 2-4.

[0054] Cada tira 100 tiene preferentemente un ancho $W1$ de aproximadamente 0,5 a 30 mm y una longitud $L1$ en el intervalo de 5 a 30 mm. Cada tira es paralela a la dirección de la proyección de los granos inclinados sobre el sustrato 1. El espacio $W2$ entre dos tiras adyacentes de una pluralidad de tiras debe ser lo más pequeño posible, preferentemente comprendido entre 10 μm y 100 μm , con el fin de lograr la máxima cobertura relativa del sustrato por

el material de detección. La capa de metal 5 se proporciona para formar los contactos en las extremidades S1 y S2 de cada tira; los contactos están separados entre sí. El aislamiento de las tiras se puede realizar por ablación por láser del detector en la figura 1 o por un enmascaramiento adecuado del sustrato 1 antes de la deposición de las capas 2-5, 8. La formación de tiras 100 sirve por dos razones diferentes. En primer lugar, para recoger mejor la señal eléctrica en las extremidades de la tira. En segundo lugar, para hacer coincidir la impedancia del sensor rápido según la invención con la electrónica que digitalizará la señal analógica originada desde el sensor. Dada un área rectangular fija del material activo y un espesor fijo de las películas depositadas, la densidad lateral de las tiras está dictada por la impedancia eléctrica del dispositivo completamente interconectado.

10 **[0055]** El diseño del circuito conductor se elige con el fin de optimizar la correspondencia de la impedancia con la electrónica utilizada para leer las señales de salida, extraídas de los electrodos 6 y 7.

[0056] Como se muestra en la figura 2, los electrodos 6 y 7 son alargados, por medio de una capa metálica 50, para interconectar en paralelo (figura 2) los contactos en los extremos S1 y S2 de las tiras de la capa activa 2. En este caso, cada tira 100 se extiende entre los electrodos 6 y 7.

[0057] Como se muestra en la figura 3, la capa metálica conductora 50 está dispuesta para interconectar en serie los extremos de las tiras de la capa activa 2. Considerando la Figura 3, la primera extremidad S1 de cada tira de la pluralidad de tiras 101...10n -dispuestas en sucesión desde la primera tira 101 a la última tira 10n- es la extremidad inferior. De manera análoga, la segunda extremidad S2 de cada tira de la pluralidad de tiras es la extremidad superior en la figura 3. El electrodo 6 se coloca en contacto con la capa policristalina 2 de la primera extremidad S1 de la primera tira 101 de la pluralidad de tiras. El electrodo 7 se coloca en contacto con la capa policristalina 2 de la segunda extremidad S2 de la última tira 10n de la pluralidad de tiras. El segundo extremo S2 de la primera tira 101 se coloca en contacto eléctrico, por medio de la capa conductora metálica 50, con el primer extremo S1 de la segunda tira 102 de la pluralidad de tiras, y así sucesivamente.

[0058] Como se muestra en la figura 4, la capa metálica conductora 50 está dispuesta para interconectar en serie los extremos de las tiras de la capa activa 2. Sin embargo, en este caso, a diferencia del detector de la figura 3, están presentes una pluralidad de tiras 201, 301...20n, 30n alternadas con orientaciones de grano opuestas. Es decir, las capas policristalinas orientadas de las tiras adyacentes (201, 301; 202, 302...20n, 30n) tienen orientaciones de grano opuestas. La doble orientación de los granos se obtiene realizando dos deposiciones posteriores de las capas policristalinas. Con la primera etapa de deposición, todas las tiras alternas con una misma orientación de grano se hacen enmascarando adecuadamente el sustrato 1 y sucesivamente adoptando la técnica de deposición física de vapor (PVD) o la deposición física de vapor por haz de electrones (EBPVD) y colocando el sustrato 1 en el ángulo de inclinación α con respecto a la fuente de evaporación, por medio de la conocida técnica de deposición en ángulo oblicuo (GLAD). La segunda deposición se realiza después de girar el sustrato 180 grados alrededor del eje, que pasa desde el centro del sustrato 1 y es perpendicular al plano superficial. Enmascarando el sustrato 1 de manera adecuada y sucesiva mediante la adopción de la técnica de deposición física de vapor (PVD) o la deposición física de vapor por haz de electrones (EBPVD) y colocando el sustrato 1 en el ángulo de inclinación α con respecto a la fuente de evaporación, por medio de la técnica de deposición en ángulo oblicuo bien conocida (GLAD, se hacen todas las tiras con orientación de grano opuesta, con respecto a las obtenidas durante la primera deposición.

[0059] Dicha pluralidad de tiras 201, 301...20n, 30n alternas forman una sucesión de tiras alternas 201, 301, 202, 302, ..., 20n, 30n. De esta manera, el electrodo 6 se coloca en contacto con la capa policristalina 4 del primer extremo S1 de la primera tira 201 de la pluralidad de tiras 201, 301, ..., 20n, 30n. El electrodo 7 se coloca en contacto con la capa policristalina 2 de la segunda extremidad S2 de la última tira 30n de la pluralidad de tiras 201, 301...20n, 30n. El segundo extremo S2 de la primera tira 201 se coloca en contacto eléctrico, por medio de la capa conductora metálica 50, con el primer extremo adyacente S1 de la primera tira 301 de la pluralidad de tiras 201, 301...20n, 30n en la parte inferior de la Figura 4. El segundo extremo S2 de la tira 301 se coloca en contacto eléctrico, por medio de la capa conductora metálica 50, con el primer extremo adyacente de la tira 202 de la pluralidad de tiras 201, 301, ..., 20n, 30n en la parte superior de la Figura 4, y así sucesivamente. La disposición del detector en la Figura 4 permite un detector más compacto con respecto al detector en la Figura 3.

[0060] La FIG. 5 es un gráfico que ilustra esquemáticamente la señal de tensión termoeléctrica transversal $V(t)$ en función del tiempo para el detector que se muestra en la FIG. 2 en respuesta al láser de irradiación RL mediante un tren de pulsos de 4 nanosegundos a una frecuencia de repetición de 1 MHz.

[0061] La FIG. 6 es un gráfico que ilustra esquemáticamente la señal de tensión termoeléctrica transversal $V(t)$ con respecto a la energía de pulso incidente E_p para el detector en la FIG. 2, donde la capa activa es una capa de bismuto.

[0062] La FIG. 7 es un gráfico que ilustra esquemáticamente el valor medido de la señal de voltaje termoeléctrico transversal $V(t)$ en función de la potencia I_L de la radiación láser de CW incidente RL para el detector en la FIG. 3, donde la capa activa es una capa de bismuto.

65

[0063] Según una variante de la realización de la presente invención, la superficie superior 10 del sustrato 1 está texturizada (es decir, mediante rayado a láser) formando ranuras con forma de V adyacentes en la misma dirección que la proyección de los granos inclinados de la capa activa 2 sobre el sustrato de dimensiones adecuadas, como se muestra en la FIG. 9. De esta manera, se obtiene una reducción de la reflectividad y una consiguiente mejora 5 de la captura óptica de la luz.

[0064] Según otra variante del detector rápido de la invención, se deposita una capa absorbente adicional 8 sobre la capa 4. Los materiales adecuados para esta capa son SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, Tíio, nanotubos de carbono o capas metálicas con textura negra. Preferentemente, el intervalo de espesor de esta capa varía de 0,1 a 20 μm, dependiendo 10 del índice de refracción del material y la región espectral de trabajo del sensor. El uso de la capa absorbente se produce cuando la radiación láser está en el intervalo IR (es decir, la longitud de onda de la radiación láser está comprendida entre 1,1 μm y 11 mm). El aumento del espesor aumenta el tiempo de respuesta del sensor, al tiempo que aumenta su umbral de daño a la radiación láser.

REIVINDICACIONES

1. Detector de radiación electromagnética (RL), que comprende:
- 5 - un sustrato (1),
 - una capa policristalina orientada (2) de material termoelectrico situada en la superficie superior (10) del sustrato, teniendo dicha capa policristalina orientada una orientación cristalina en un ángulo comprendido entre 30 grados y 55 grados con respecto a una normal a la superficie superior del sustrato
 - electrodos primero (6) y segundo (7) separados entre sí y en contacto eléctrico con la capa policristalina orientada,
- 10 donde dicha capa policristalina orientada (2) de material termoelectrico se deposita sobre la superficie superior (10) del sustrato mediante deposición en ángulo oblicuo (GLAD: *glancing angle deposition*), donde una capa cerámica es la capa superior de dicho sustrato o todo el sustrato es una capa cerámica y dicha capa cerámica en ambas alternativas no tiene una orientación de grano específica.
- 15 2. Detector según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho sustrato comprende una capa metálica que ha sido previamente pasivada eléctricamente por una capa cerámica.
3. Detector según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho sustrato tiene una orientación cristalina
 20 diferente de la de la capa policristalina.
4. Detector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende, al menos, una tira (100) formada por la capa policristalina orientada que se extiende entre el primer y el segundo electrodos.
- 25 5. Detector según la reivindicación 4, **caracterizado porque** comprende una pluralidad de tiras (100) donde cada tira está formada por la capa policristalina orientada, dichas tiras de la pluralidad de tiras están separadas y son paralelas entre sí, extendiéndose la pluralidad de tiras entre el primer y el segundo electrodos.
- 30 6. Detector según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** comprende una pluralidad de tiras (101... 10n-1, 10n) donde cada tira está formada por la capa policristalina orientada, dichas tiras de la pluralidad de tiras están separadas y son paralelas entre sí, estando dispuestas dichas tiras de la pluralidad de tiras en sucesión desde una primera tira (101) a la n-ésima tira (10n), teniendo cada tira de la pluralidad de tiras un primer extremo (S1) y un segundo extremo (S2), estando conectado el primer electrodo (6) al primer extremo (S1) de la
 35 primera tira (101) de la pluralidad de tiras y estando conectado el segundo electrodo (7) al segundo extremo (S2) de la n-ésima tira (10n) de la pluralidad de tiras, estando el segundo extremo de cada tira de la pluralidad de tiras en contacto eléctrico con el primer extremo de la tira sucesiva de la pluralidad de tiras.
7. Un detector según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** comprende una
 40 pluralidad de tiras (201, 301...20n, 30n) donde cada tira está formada por la capa policristalina orientada pero donde las capas policristalinas orientadas de las tiras adyacentes (201, 301; 202, 302...20n, 30n) tienen orientaciones de grano opuestas, dichas tiras de la pluralidad de tiras están separadas y son paralelas entre sí, estando dispuestas dichas tiras de la pluralidad de tiras en sucesión desde una primera tira (201) a la n-ésima tira (30n) y donde, cada tira de la pluralidad de tiras tiene un primer extremo (S1) y un segundo extremo (S2), estando conectado el primer electrodo
 45 (6) al primer extremo (S1) de la primera tira (201) de la pluralidad de tiras y estando conectado el segundo electrodo al segundo extremo de la n-ésima tira (30n) de la pluralidad de tiras, estando el segundo extremo de cada tira de la pluralidad de tiras en contacto eléctrico con el primer extremo de la tira sucesiva de la pluralidad de tiras.
8. Detector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la superficie
 50 superior del sustrato presenta una rugosidad inferior a 2 mm.
9. Detector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende una capa de pasivación (4) superpuesta sobre la capa policristalina orientada.
- 55 10. Detector según la reivindicación 9, **caracterizado porque** comprende una capa tampón (3) colocada entre la capa policristalina orientada y la capa de pasivación.
11. Detector según la reivindicación 10, **caracterizado porque** comprende una capa absorbente (9) colocada sobre la capa de pasivación.
- 60 12. Detector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la superficie superior del sustrato está texturizada formando ranuras en forma de V adyacentes en la misma dirección que la proyección de los granos inclinados de la capa policristalina orientada.
- 65 13. Detector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, al menos, una

capa cerámica del sustrato está formada por un material seleccionado del grupo de materiales que comprende nitruro de aluminio sinterizado (AlN), nitruro de silicio (Si_3N_4), carburo de silicio (SiC), nitruro de boro (BN), carburo de boro (B_4C), alúmina (Al_2O_3) y óxido de berilio (BeO).

5 14. Detector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicha capa policristalina orientada está formada por un material seleccionado del grupo de materiales que comprende bismuto (Bi), telururo de bismuto (Bi_2Te_3), óxido de zinc dopado con aluminio (Al:ZnO) y antimonio (Sb).

15. Detector según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho sustrato es una capa cerámica
10 sinterizada.

16. Detector según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los primer (6) y segundo (7) electrodos están hechos del mismo material de dicha capa policristalina orientada (2) de material termoeléctrico.

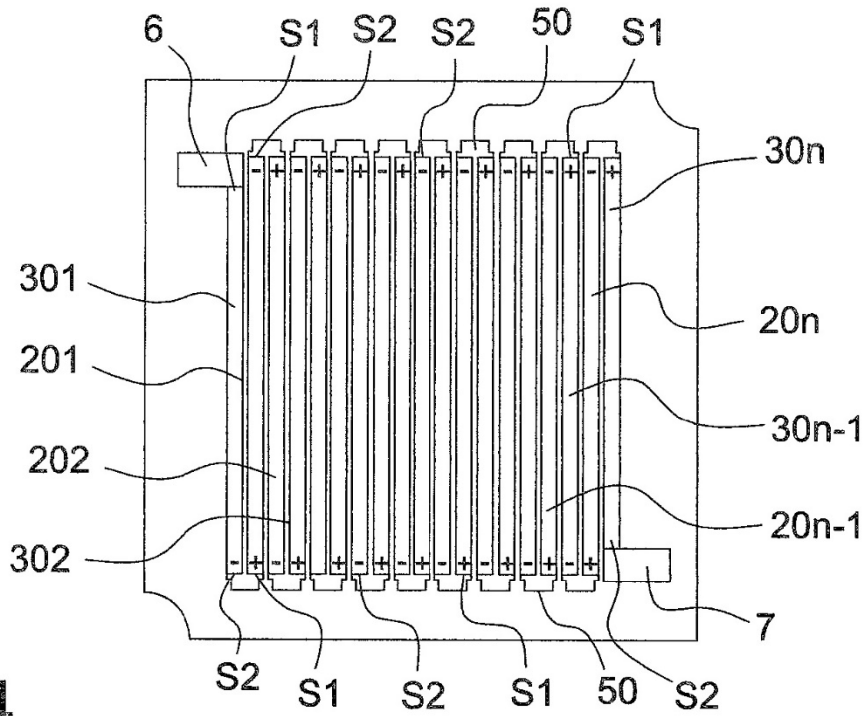


Fig.4

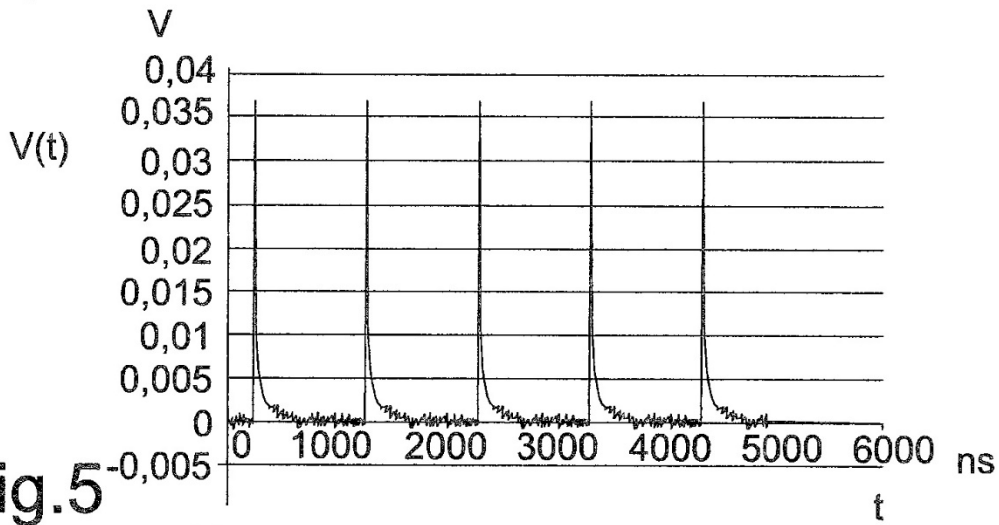


Fig.5

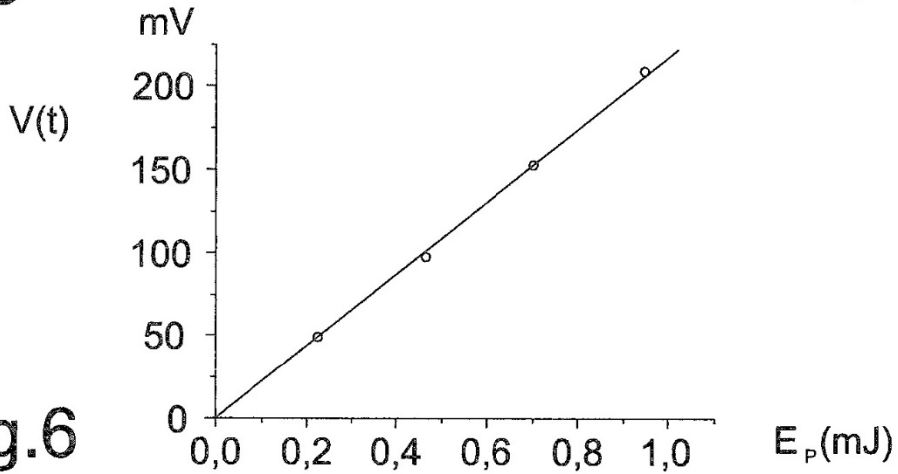


Fig.6

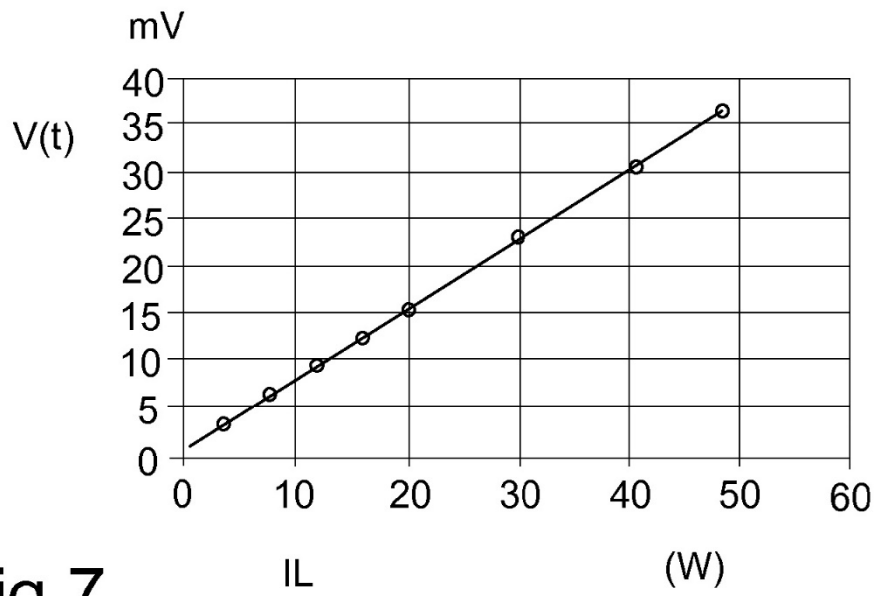


Fig.7

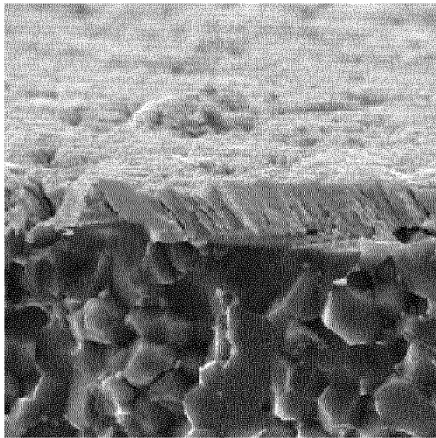


Fig.8a

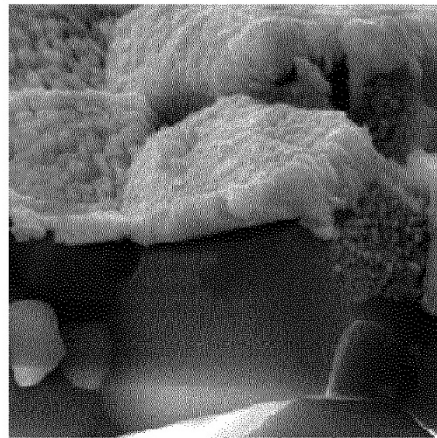


Fig.8b

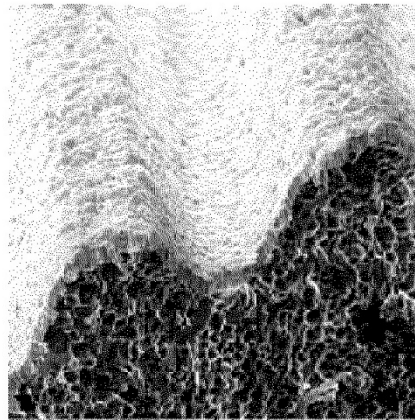


Fig.9