

(12)

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⁽¹⁾Número de publicación: **2 546 917**

21 Número de solicitud: 201400241

51 Int. CI.:

H01L 31/101 (2006.01)

PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:	73 Titular/es:
27.03.2014	UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
43 Fecha de publicación de la solicitud:	Avenida de Séneca, 2
29.09.2015	28040 Madrid (Madrid) ES y UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (20.0%)
Fecha de la concesión:	(72) Inventor/es:
01.02.2016	OLEA ARIZA, Javier;
(45) Fecha de publicación de la concesión:	GONZÁLEZ DÍAZ, Germán;
08.02.2016	PASTOR PASTOR, David;
	GARCÍA HEMME, Eric; GARCÍA HERNANSANZ, Rodrigo;
	DEL PRADO MILLÁN, Álvaro;
	FERNÁNDEZ SÁEZ, Pablo; CIMAS CUEVAS, Bosa;
	MARTÍ VEGA, Antonio y
	LUQUE LÓPEZ, Antonio
	(74) Agente/Representante:
	TIRADO FERNÁNDEZ, José Francisco

(54) Título: Dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente

57 Resumen:

Dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente. La presente invención se refiere a un dispositivo con tres capas: dos semiconductores, (1) y (2), y una capa intermedia (3) aislante que están basadas en silicio cristalino. La implantación de impurezas con una concentración que supera la solubilidad sólida de dicha impureza en silicio confiere al dispositivo la capacidad de detectar radiación infrarroja a temperatura ambiente. La invención también se refiere al método para fabricar el dispositivo de la invención, que incluye técnicas de fabricación fuera del equilibrio termodinámico.



Figura 1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente

Sector técnico

5 La presente invención se encuadra en el sector de los fotodetectores de infrarrojo, la microelectrónica y la tecnología del silicio.

Estado de la técnica

En la actualidad, más del 90% de la tecnología microelectrónica se basa en silicio. Debido a esto y a que el 28% de la corteza terrestre es de silicio, la tecnología basada en este semiconductor es también la más barata. No obstante, siempre ha existido una limitación en cuanto a la aplicación del silicio para la detección de radiación infrarroja a temperatura ambiente (300 K), ya que este semiconductor no responde a longitudes de onda superiores a 1.1 micras, mientras que el intervalo de longitudes de onda de la radiación infrarroja abarca desde las 0,7 micras a las 1000

- 15 micras, aproximadamente. Para solucionar este inconveniente, en la industria microelectrónica se han usado diversas alternativas:
 - Utilización de otros materiales distintos del silicio y que puedan responder al infrarrojo (CdTe, InGaAs, PbSe,...). Estos materiales plantean dos problemas. El primero es que son mucho más escasos y en ocasiones tóxicos. El segundo es que no son fácilmente integrables en la tecnología de silicio. Ambos problemas encarecen el dispositivo.
 - Uso de dispositivos que operen a temperaturas criogénicas (ver patente US4568960 "Blocked impurity band detectors"). A estas temperaturas incluso el silicio puede responder al infrarrojo. El problema de esta opción es el coste de
- 25

30

20

- adquisición, mantenimiento, operación y portabilidad de un sistema de refrigeración criogénica.
- Uso de silicio microestructurado. Mediante un proceso láser de femto-segundos es posible modificar la superficie del silicio para que absorba radiación infrarroja (ver solicitud de patente US20050127401A1 "Silicon-based visible and nearinfrared optoelectronic devices").
- Microbolometros de silicio amorfo (ver solicitud de patente WO 2001081879 A2 "Microbolometer and manufacturing method"). Estos dispositivos se basan en la medición de cambios de temperatura para caracterizar la radiación infrarroja incidente. Tienen el inconveniente de que son relativamente lentos.
- Dispositivos basados en defectos (ver patente GB 2383679 A). Estos dispositivos tienen un bajo nivel de señal y responden hasta 1.5 µm. Para aumentar el nivel de señal se usan estrategias que resultan complejas y encarecen el diseño, como por ejemplo la microfabricación de una guía de ondas.

Explicación de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo para la detección de radiación visible e infrarroja, basado en silicio, completamente integrable en la tecnología de silicio y que funciona a temperatura ambiente.

La figura 1 presenta un esquema de la estructura de este dispositivo. Esta estructura incluye 3 capas: dos semiconductores, (1) y (2), y una capa intermedia o interfaz (3) que aísla eléctricamente a las otras dos a temperatura ambiente. Las tres capas, (1), (2) y (3), están basadas en silicio cristalino. Esto quiere decir que al menos el 90% de la composición del material es silicio y que, además, su estructura cristalina es la del silicio. La capa (1) actúa como sustrato del dispositivo.

Sobre la capa (2) se fabrican contactos metálicos, (4) y (5), para acceder eléctricamente al dispositivo. No obstante, como puede verse en las figuras 2 y 3, uno de los contactos también puede estar situado en el sustrato semiconductor (1). Para que los dispositivos de las figuras 2 y 3 funcionen correctamente, la polarización entre los contactos (4) y (5) debe de ser tal que consiga que la capa o interfaz (3) produzca un aislamiento.

La capa superior (2) debería tener una resistencia mayor que la inferior (1) y, además, debe hacer buen contacto eléctrico con (4) y (5), por lo que la capa (2) debe de ser delgada (espesor menor de 2 μ m) y de baja resistividad (resistividad menor de 15 Ω cm). Debido al aislamiento que provoca la capa (3), existen 2 estados en su

- funcionamiento (figura 4). Estado A: en ausencia de radiación infrarroja, es decir, en oscuridad, el dispositivo tan solo presenta la resistencia debida a la capa (2). Cuando la radiación infrarroja modifica las propiedades de la capa (3), el dispositivo obtiene las propiedades de las capas (1) y (2) en paralelo, llegando al estado B, que sería la resistencia del dispositivo bajo iluminación. La diferencia entre estos dos estados se identificará como un cambio de resistencia eléctrica asociada a la detección de radiación infrarroja a través de los contactos (4) y (5), pudiendo darse estados
- intermedios entre el aislamiento total y el paralelo total. Este cambio de resistencia eléctrica variará con la temperatura, por lo que la sensibilidad de detección será por lo general mayor a temperaturas por debajo de 300 K.
- 30 Existen 2 posibles configuraciones básicas de las propiedades de las capas (2) y (3) que darían lugar al funcionamiento descrito arriba:
 - A. La capa (2) es un material transparente a la radiación infrarroja, por lo que dicha radiación no le afecta directamente. El silicio puro sería un ejemplo de material de este tipo, ya que es transparente a la radiación infrarroja a longitudes de onda
- por encima de 1.1 µm. Dicha capa de silicio sí reaccionaria a la luz visible, proporcionando al dispositivo alta sensibilidad en el rango visible. La capa intermedia (3) debe ser sensible a la radiación infrarroja a temperatura ambiente, de tal forma que cuando dicha radiación llega a la capa intermedia, sus propiedades se modifican, dejando entonces de aislar eléctricamente a las capas
 (1) y (2). Esta capa intermedia debería estar formada por silicio al que se le incorpora una alta concentración de impurezas profundas (como se especificará

más adelante) o bien, esta capa intermedia podría ser simplemente la interfaz

entre este material con alta concentración de impurezas profundas y el sustrato base (1).

- B. La capa (2) responde a la radiación infrarroja a temperatura ambiente, siendo esta capa (2) un material basado en silicio con una alta concentración de
- 5 impurezas profundas. Dicha radiación genera nuevos portadores de carga en (2), es decir, electrones, que son inyectados a la capa intermedia (3). En este caso, la capa intermedia (3) sería la interfaz entre la capa (2) y el sustrato (1). Esos portadores inyectados en (3) modifican las propiedades de la propia capa (3), dejando entonces (3) de aislar eléctricamente a (1) y (2).
- 10 Otro aspecto de la invención se refiere a un método para fabricar un dispositivo para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente. Dicho método comprende las siguientes fases:

 Fabricación de una capa superior (2) de un material semiconductor y de una capa intermedia (3) de material eléctricamente aislante, sobre un sustrato semiconductor de silicio (1), mediante implantación iónica y un proceso térmico laser posterior, o mediante pulverización catódica o evaporación, con o sin proceso térmico láser

- Fabricación de dos contactos eléctricos.

15

posterior,

Para fabricar las capas (2) y (3), se usa como base silicio, al que se modifica
 introduciendo impurezas que actúan como centros profundos. En la presente
 invención la concentración de estas impurezas debe alcanzar una concentración de
 entre 10²⁰ y 5x10²⁰ cm⁻³.

En una realización preferida, las impurezas de la capa intermedia (3) son de circonio y/o cromo.

- La presente invención se diferencia de las tecnologías existentes en varios aspectos. En primer lugar, el dispositivo de la invención se basa enteramente en silicio, siendo compatible con la tecnología microelectrónica de silicio, y no se basa en materiales micro- o nanoestructurados, sino en silicio cristalino de alta calidad y, además, funciona a temperatura ambiente.
- 30 Por otro lado, el funcionamiento del dispositivo no se basa en la medición de cambios de temperatura sino en la caracterización de transiciones óptico-cuánticas en el seno de los semiconductores que lo componen. Esta característica da un mayor potencial en cuanto a tiempo de respuesta y frecuencia de uso de la que presentan otras tecnologías conocidas.
- 35 Especialmente destacable es el hecho de que el dispositivo de la invención no se basa en la creación de defectos en silicio, sino en la implantación de impurezas que crean niveles profundos en el gap del silicio. Además, la concentración de impurezas necesaria para conseguir el funcionamiento del dispositivo supera en varios órdenes de magnitud la solubilidad sólida de dicha impureza en silicio, por lo que se requieren
- 40 técnicas de fabricación fuera del equilibrio termodinámico; por ejemplo, la implantación iónica seguida de un proceso térmico láser, que puede ser un proceso

ES 2 546 917 B2

con láser pulsado Esta diferencia es de especial interés si se compara con tecnologías en las que se usan procesos térmicos dentro del equilibrio termodinámico (como el recocido térmico rápido), lo que resulta en dispositivos con una baja concentración de centros profundos y, por lo tanto, con una baja señal que requiere estructuras adicionales como las guías de ondas. Debido a su estructura, el dispositivo presentado en la presente invención posee una alta respuesta en el

- 5 requiere estructuras adicionales como las guías de ondas. Debido a su estructura, el dispositivo presentado en la presente invención posee una alta respuesta en el infrarrojo por lo que resulta un dispositivo eficiente sin la necesidad de introducir estructuras adicionales, como las guías de ondas ya comentadas.
- Por último, el material sensible a la radiación infrarroja de otras invenciones es
 esencialmente intrínseco (por ejemplo, en GB 2383679 A), es decir, se comporta como aislante, mientras que, en la presente invención, el material de la capa superior
 (2) está degenerado, es decir, actúa más como un conductor que como un semiconductor, lo cual es fundamental para el correcto funcionamiento del dispositivo de la invención.
- 15 En relación con el punto anterior, es importante remarcar que se necesita una muy alta concentración de impurezas en la capa superficial (2) del dispositivo. Sin embargo, durante la realización de esta invención se ha comprobado que el aumento de la concentración de impurezas en esta capa no siempre mejora las características del dispositivo en cuanto a detección de radiación infrarroja; se ha determinado la
- 20 concentración óptima de impurezas en la capa (2) para obtener la mayor sensibilidad del dispositivo de detección de radiación infrarroja a temperatura ambiente, dicha concentración óptima está entre 10²⁰ cm⁻³ y 5×10²⁰ cm⁻³. Existe un límite inferior de concentración de impureza por debajo del cual el material modificado de la capa superficial (2) tiene unas propiedades opto-electrónicas similares a las del silicio sin
- 25 modificar y, por lo tanto, carece de interés para la detección de radiación infrarroja a temperatura ambiente. Como ejemplo de este caso, en la figura 5 se muestra, en el eje de ordenadas, la resistencia en oscuridad de varios dispositivos (D1 D4), en función de la temperatura (eje de abscisas). El dispositivo D1, con una concentración de circonio comprendida entre 10¹⁸ y 5x10¹⁹ cm⁻³ en la capa superficial (2), tiene una
- 30 resistencia prácticamente igual a la del sustrato (1), de tal forma que bajo iluminación infrarroja no hay cambio de resistencia y, por lo tanto, la sensibilidad es muy baja. Por encima del límite de 10²⁰ cm⁻³ se obtienen propiedades interesantes en la capa (2) (como por ejemplo, muy alta absorción en el espectro infrarrojo) que van mejorando según se aumenta la concentración de impurezas, fundamentalmente la
- capacidad de absorción del dispositivo (por ejemplo, para una concentración cercana a 3×10²⁰ cm⁻³ el coeficiente de absorción es de casi 10⁴ cm⁻¹ a una longitud de onda de 1.55 μm). Un dispositivo fabricado con una concentración de circonio entre 10²⁰ cm⁻³ y 5×10²⁰ cm⁻³ en la capa (2) tiene una resistencia en oscuridad en función de la temperatura como la determinada por D2 en la figura 5. Este dispositivo sería el óptimo, ya que la diferencia entre la resistencia en oscuridad y la resistencia en iluminación (diferencia entre D1 y D2) sería la máxima, dotando al dispositivo para la detección de radiación visible e infrarroja de la máxima sensibilidad.

Sin embargo, si la concentración de circonio en la capa superficial (2) se aumenta por encima de 5×10²⁰ cm⁻³, aunque la capa (2) pueda tener mayor absorción en el

infrarrojo, el dispositivo pierde sensibilidad. Ver el caso de los dispositivos D3 y D4 en la figura 5: al aumentar la concentración de circonio en (2) por encima de 5×10²⁰ cm⁻³ (la concentración del dispositivo D3 es de 10²¹ cm⁻³ y la concentración de D4 es de 3x10²¹ cm⁻³), la resistencia en oscuridad de la capa (2) disminuye, por lo que la diferencia con respecto a D1, es decir, entre la resistencia en oscuridad y la resistencia en iluminación, se reduce, perdiendo por tanto sensibilidad.

En la presente invención se ha determinado el límite de la concentración óptima de impurezas. Dicha concentración óptima se encuentra en el intervalo de 10²⁰ – 5×10²⁰ cm⁻³. El resultado es que la sensibilidad del dispositivo a la radiación infrarroja se maximiza cuando la concentración de impurezas es óptima, posibilitando que el dispositivo pueda operar a temperatura ambiente. Para concentraciones por encima del óptimo, además de perder sensibilidad, el dispositivo tiene un intervalo de temperaturas de uso menor, ya que los dos estados de funcionamiento (A y B de la figura 4) se solapan a ciertas temperaturas.

15 **Descripción de los dibujos**

5

30

Figura 1. Esquema de la estructura básica del dispositivo de la invención, compuesta por dos semiconductores, capa (1) y capa (2), y una capa intermedia (3) eléctricamente aislante. La capa semiconductora (1) actúa como sustrato del dispositivo. Sobre la capa (2) se fabrican dos contactos metálicos, (4) y (5).

Figura 2. Esquema de la estructura básica del dispositivo de la invención, compuesta por dos semiconductores, capa (1) y capa (2), y una capa intermedia (3) eléctricamente aislante. La capa semiconductora (1) actúa como sustrato del dispositivo. En el sustrato se fabrica un contacto metálico (4), y sobre la capa (2) se fabrica el otro contacto metálico (5). Los contactos metálicos (4) y (5) se fabrican en caras opuestas del dispositivo.

Figura 3. Esquema de la estructura básica del dispositivo de la invención, compuesta por dos semiconductores, capa (1) y capa (2), y una capa intermedia (3) eléctricamente aislante. La capa semiconductora (1) actúa como sustrato del dispositivo. En el sustrato (1) se fabrica un contacto metálico (4), y sobre la capa (2) se fabrica el otro contacto metálico (5). Los contactos metálicos (4) y (5) se fabrican en la misma cara del dispositivo.

Figura 4. Se representa, en el eje de ordenadas la resistencia (Ω) vista entre los contactos del dispositivo (entre (4) y (5) de la figura 1, por ejemplo), y en el eje de abscisas la temperatura (K) del dispositivo. Se muestran las resistencias de los estados de funcionamiento A: aislamiento total de la capa (3), en oscuridad; y B: la capa (3) deja de aislar, por lo que la resistencia medida es el paralelo de la capa (1) y la capa (2), en el estado de iluminación. La diferencia entre los estados A y B, ΔR(T), indica la sensibilidad del dispositivo a la radiación infrarroja.

Figura 5. Se representa, en el eje de ordenadas, la resistencia (Ω) vista entre los
 contactos del dispositivo (entre (4) y (5) en la figura 1, por ejemplo), y en el eje de abscisas la temperatura (K) del dispositivo. Se muestran las resistencias en

oscuridad de varios dispositivos D1 – D4. El dispositivo D1 no tiene sensibilidad a la luz infrarroja, por lo que su resistencia en oscuridad es igual a su resistencia en iluminación (es decir $\Delta R(T) \approx 0$). El dispositivo D1 representa la resistencia del estado B para los demás dispositivos.

5 **Figura 6.** Paso 1 del ejemplo de fabricación del dispositivo: depósito de una capa de óxido de silicio (6) sobre una oblea de silicio.

Figura 7. Paso 2 del ejemplo de fabricación del dispositivo: fotolitografía para la implantación del anillo de guarda.

Figura 8. Paso 2 del ejemplo de fabricación del dispositivo: apertura en el óxido de silicio (6) depositado en el paso 1.

Figura 9. Paso 2 del ejemplo de fabricación del dispositivo: eliminación de la fotorresina (7) con disolvente DMSO.

Figura 10. Paso 3 del ejemplo de fabricación del dispositivo: implantación iónica en el sustrato (1) para formar el anillo de guarda.

15 **Figura 11.** Paso 4 del ejemplo de fabricación del dispositivo: eliminación del óxido de silicio (6) depositado en el paso 1. Se realiza, además, un proceso de recocido térmico rápido.

Figura 12. Paso 5 del ejemplo de fabricación del dispositivo: proceso de fotolitografía para definir una máscara de implantación (8) para el paso 6.

20 **Figura 13.** Paso 6 del ejemplo de fabricación del dispositivo: preamorfización con Si²⁸ y doble implantación de Cr⁵² en el sustrato (1).

Figura 14. Paso 9 del ejemplo de fabricación del dispositivo: proceso de fotolitografía para definir las zonas de contacto metálico.

Figura 15. Paso 10 del ejemplo de fabricación del dispositivo: depósito de una capa metálica (10).

Figura 16. Paso 11 del ejemplo de fabricación del dispositivo: proceso de reflotamiento para eliminar fotorresina (9) y metal (10).

Figura 17. Paso 12 del ejemplo de fabricación del dispositivo: proceso de fotolitografía para definir la zona en la que se depositará la capa antirreflectante.

30 **Figura 18.** Paso 13 del ejemplo de fabricación del dispositivo: depósito de una capa antirreflectante y pasivante de oxinitruro de silicio (12).

Figura 19. Paso 14 del ejemplo de fabricación del dispositivo: proceso de reflotamiento para eliminar la fotorresina (11) y la capa antireflectante (12).

Figura 20. Ejemplo de un circuito de amplificación y medida para caracterizar el dispositivo fabricado a través de los contactos metálicos (4) y (5).

Figura 21. Respuestas espectrales de dos ejemplos de dispositivos fabricados con Cr⁵² (cuadrados rellenos) y con Zr⁹⁰ (círculos vacíos).

Figura 22. Respuesta espectral de un ejemplo de dispositivo fabricado con Cr^{52} extendida hasta 2.5 µm.

5

10

25

Exposición detallada de un modo de realización

A continuación se expone un procedimiento detallado para la fabricación de un dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente sobre una oblea de silicio tipo n, que pretende ser ilustrativo, y nunca limitativo del alcance de la presente invención:

- Se parte de una oblea de silicio de 1 Ωcm tipo n crecida en la dirección (111) mediante la técnica Czochralski (1). Sobre la oblea se deposita, mediante una evaporación por cañón de electrones, una capa de óxido de silicio (6) de 500 nm de espesor (figura 6).
- A continuación se realiza un proceso de fotolitografía óptica dejando descubierta, a través de la fotorresina (7), la zona en la que se creará el anillo de guarda (figura 7). En esa zona se elimina el óxido de silicio (6) mediante un ataque químico con ácido fluorhídrico tamponado (BHF) (figura 8). Después del ataque químico se elimina la fotorresina (7) con disolvente DMSO en un baño de ultrasonidos (figura 9).
 - 3. Se realiza una implantación de B¹¹ (dopante tipo p) a 32 keV con una dosis de 5×10¹⁴ cm⁻² y con una inclinación de 7º (figura 10).
 - Se elimina el óxido de silicio (6) restante mediante un ataque químico con HF (figura 11). A continuación se realiza un proceso de recocido térmico rápido a 850°C durante 15 segundos en atmósfera de argón.
 - 5. Mediante un proceso de fotolitografía óptica similar al del paso 2 se define una máscara de óxido de silicio (8) en la zona delimitada por el anillo de guarda (figura 12).
- 6. Se realiza una preamorfización de la zona a implantar mediante una implantación de Si²⁸ (dosis de 10¹⁶ cm⁻², energía de 170 keV). A continuación se realiza una doble implantación de Cr⁵² (dosis de 10¹⁵ cm⁻² y energía de 35 keV, y dosis de 4×10¹⁵ cm⁻² y energía de 150 keV). Ambas implantaciones se realizan a 7º (figura 13).
- Después de la implantación de Cr⁵², se realiza un proceso térmico consistente en un proceso con láser pulsado de excímeros de KrF con una densidad de energía de 1.8 J/cm².

- 8. Se realiza un ataque químico de la superficie implantada con Cr⁵² con una disolución de HF/HNO₃ para eliminar los 10 nm más superficiales, en los cuales se acumula densamente el Cr⁵².
- Se realiza un proceso de fotolitografía óptica dejando descubiertas, a través de la fotorresina (9), la zona en la que el metal de los contactos metálicos, que se fabricarán en el paso siguiente, contactará a la zona implantada en el paso 6 (figura 14).
 - 10. Se deposita una capa metálica (10) sobre la oblea mediante la técnica de evaporación por cañón de iones. En este ejemplo concreto, se depositan unos 200 nm de aluminio (figura 15).
 - 11. Se realiza un proceso de reflotamiento para eliminar la fotorresina (9) y la capa metálica (10) que hay sobre dicha fotorresina (figura 16). Las zonas metálicas que permanecen constituyen los contactos metálicos (4) y (5).
- 12. Se realiza un proceso de fotolitografía óptica para dejar descubierta la zona en la que se depositará, posteriormente, una capa antirreflectante y pasivante. Se protege con fotorresina (11) la zona de los contactos metálicos (4) y (5) (figura 17).
 - 13. Se deposita una capa antirreflectante y pasivante de oxinitruro de silicio (12) mediante un depósito químico en fase de vapor, asistido por plasma de resonancia ciclotrónica de electrones, de unos 350 nm (figura 18).
 - 14. Mediante reflotamiento se elimina la fotorresina (11) y la capa de material antirreflectante (12) que hay sobre dicha fotorresina (figura 19). En la figura 19 pueden verse todas las capas que componen la invención según la estructura descrita en la figura 2.
- 15. Los contactos metálicos (4) y (5) se conectan externamente a un circuito de amplificación y medida para caracterizar la respuesta del dispositivo, en este caso la tensión en una resistencia. El circuito de la figura 20 es un ejemplo sencillo.
- En la figura 21, se muestran las respuestas espectrales de dos dispositivos similares al descrito en el ejemplo que se acaba de detallar, uno implantado con cromo (cuadrados rellenos) y otro implantado con circonio (círculos vacíos). En el eje de ordenadas se representa la responsividad en V/W, y en el eje de abscisas se representa la longitud de onda de iluminación en micras. Se observa cómo la respuesta se extiende claramente en el infrarrojo hasta una longitud de onda de aproximadamente 1.8 µm en ambos casos. La respuesta en el infrarrojo es prácticamente plana. Aunque los parámetros de fabricación pueden ser optimizados para un dispositivo concreto, en la figura 21 se muestra que la respuesta medible supera las 1.5 µm. Además, en la figura 22, se muestra cómo el dispositivo fabricado con cromo tiene una responsividad medible que supera ampliamente las 2 µm.

10

5

15

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente que comprende:

- una capa de material semiconductor (1) que constituye el sustrato del dispositivo;

- una segunda capa de material semiconductor (2);

5

15

35

- una capa intermedia (3) eléctricamente aislante;

- dos contactos metálicos (4) y (5) para acceder eléctricamente al dispositivo

donde las capas (1), (2) y (3) están basadas en silicio cristalino y la capa (2) contiene 10 una concentración de impurezas de cromo y/o circonio entre $10^{20} - 5 \times 10^{20}$ cm⁻³.

2. Dispositivo según la reivindicación 1 en el que los dos contactos metálicos (4) y (5) están situados sobre la capa superior (2).

3. Dispositivo según la reivindicación 1 en el que uno de los contactos metálicos (5) está situado sobre la capa superior (2) y el otro contacto metálico (4) está situado en el sustrato (1).

4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la capa de material semiconductor (2) tiene un espesor menor de 2 μ m y una resistividad menor de 15 Ω cm.

5. Procedimiento para la fabricación de un dispositivo de silicio para la detección de 20 radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente que comprende:

- la fabricación de una capa superior (2) de un material semiconductor y de una capa intermedia (3) de material eléctricamente aislante, sobre un sustrato semiconductor de silicio (1),

- la fabricación de dos contactos metálicos,

25 donde, para fabricar las capas (2) y (3), se usa como base silicio que se modifica introduciendo impurezas de circonio y/o cromo mediante implantación iónica y un proceso térmico laser posterior, o mediante pulverización catódica o evaporación, con o sin proceso térmico láser posterior.

6. Procedimiento según la reivindicación 5 en el que las impurezas se introducen en
una concentración de entre 10²⁰ y 5x10²⁰ cm⁻³.

7. Procedimiento según la reivindicación 5 en el que el proceso térmico láser es un proceso con láser pulsado.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5-7 en el que, tras la fabricación de la capa (2) se eliminan los 10-20 nm superiores de dicha capa mediante un ataque químico superficial.

ES 2 546 917 B2

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5-8 en el que los dos contactos metálicos se fabrican sobre la capa superior (2).

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5-8 en el que uno de los contactos metálicos se fabrica sobre la capa superior (2) y el otro contacto metálico se fabrica en el sustrato (1).



Figura 1



Figura 2



Figura 3

ES 2 546 917 B2



ES 2 546 917 B2



Figura 5



Figura 6



Figura 7



Figura 8



Figura 9



Figura 10



Figura 11



Figura 12



Figura 13



Figura 14



Figura 15



Figura 16



Figura 17



Figura 18



Figura 19



Figura 20

ES 2 546 917 B2



ES 2 546 917 B2



Figura 22



(21) N.º solicitud: 201400241

- (2) Fecha de presentación de la solicitud: 27.03.2014
- 32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(5) Int. Cl.: H01L31/101 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	goría 56 Documentos citados			
A	GARCIA-HEMME, E., et al., Far ir supersaturated silicon, Applied Phy	nfrared photoconductivity in a silicon based material: Vanadium ysics Letters, 2013, Vol. 103, 032101; doi: 10.1063/1.4813823.	1-10	
A	GARCIA-HEMM, E., et al., Double Generation Solar Cells, Interna doi:10.1155/2013/473196.	Ion Implantation and Pulsed Laser Melting Processes for Third ational Journal of Photoenergy, 2013, Art. ID 473196;	1-10	
A	AHARONOVICH, I., et al., Engine diamonds, New Journal of Physics,	ering chromium-related single photon emitters in single crystal , 2011, Vol. 13, 045015; doi: 10.1088/1367-2630/13/4/045015.	1-10	
Categoría de los documentos citados O: referido a divulgación no escrita X: de particular relevancia O: referido a divulgación no escrita Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud A: refleja el estado de la técnica E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud				
El presente informe ha sido realizado X para todas las reivindicaciones para las reivindicaciones nº:				
Fecha	de realización del informe 15.01.2015	Examinador M. M. García Poza	Página 1/4	

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01L

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPESP, INSPEC, MEDLINE, HCAPLUS

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 15.01.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones Reivindicaciones	1-10	SI NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones Reivindicaciones	1-10	SI NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	GARCIA-HEMME, E., et al., Far infrared photoconductivity in a silicon based material: Vanadium supersaturated silicon, Applied Physics Letters, 2013, Vol. 103, 032101; doi: 10.1063/1.4813823.	
D02	GARCIA-HEMM, E., et al., Double Ion Implantation and Pulsed Laser Melting Processes for Third Generation Solar Cells, International Journal of Photoenergy, 2013, Art. ID 473196; doi:10.1155/2013/473196.	
D03	AHARONOVICH, I., et al., Engineering chromium-related single photon emitters in single crystal diamonds, New Journal of Physics, 2011, Vol. 13, 045015; doi: 10.1088/1367-2630/13/4/045015.	

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El objeto de la invención es un dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente y el procedimiento para la fabricación del mismo.

El documento D01 divulga muestras de silicio con impurezas de vanadio introducidas mediante implantación iónica y posterior tratamiento con láser pulsado. De este modo se consigue una respuesta de las muestras en el infrarrojo.

El documento D02 divulga muestras de silicio con impurezas de titanio introducidas mediante implantación iónica y posterior tratamiento con láser pulsado.

El documento D03 divulga muestras de diamante monocristalino con impurezas de cromo introducidas mediante implantación iónica.

Ninguno de los documentos citados divulga un dispositivo de silicio para la detección de radiación visible e infrarroja a temperatura ambiente que comprenda una capa de material semiconductor (el sustrato), una segunda capa de material semiconductor, una capa intermedia y dos contactos metálicos, donde las capas están basadas en silicio cristalino y la segunda capa de material semiconductor contiene impurezas de cromo y/o circonio.

Tampoco sería obvio para el experto en la materia llegar al dispositivo de la invención a partir de la información divulgada en el estado de la técnica.

Por lo tanto, se considera que el dispositivo de la invención, según se recoge en las reivindicaciones 1 a 4, y su procedimiento de fabricación, recogido en las reivindicaciones 5 a 10, presentan novedad y actividad inventiva (Arts. 6.1 y 8.1 LP).