

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 797**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0336** (2006.01)

**H01L 31/0352** (2006.01)

**H01L 31/18** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2008 E 08762623 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2013 EP 2162924**

54 Título: **Estructura de dispositivo semiconductor y procedimiento de fabricación de la misma**

30 Prioridad:

**29.06.2007 GB 0712618**

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

**05.12.2013**

73 Titular/es:

**KROMEK LIMITED (100.0%)  
NetPark, Thomas Wright Way  
Sedgefield, Durham TS21 3FD, GB**

72 Inventor/es:

**BASU, ARNAB y  
ROBINSON, MAX**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 432 797 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**

Estructura de dispositivo semiconductor y procedimiento de fabricación de la misma.

La presente invención se refiere a un dispositivo semiconductor y un procedimiento de fabricación del mismo. En particular, la presente invención se refiere a un dispositivo que comprende un material semiconductor del grupo II-VI formado sobre un sustrato de un material semiconductor distinto, y a un procedimiento para formar dicha estructura. En particular, la invención se refiere a un dispositivo para la detección de un amplio intervalo de energías de fotones (gamma, rayos X y visible) y a un procedimiento de fabricación del mismo.

Los materiales semiconductores se usan en muchas aplicaciones, incluyendo circuitos electrónicos y detectores. Los diferentes materiales semiconductores pueden ser especialmente adecuados para su uso en aplicaciones particulares. Por ejemplo, se conoce el uso de materiales del grupo II-VI tales como telururo de cadmio y telururo de cadmio-cinc (CZT) para la detección de rayos X y rayos gamma, puesto que estos materiales pueden absorber fotones y generar una señal eléctrica como respuesta.

En particular, los materiales de monocristal tienen varias aplicaciones importantes. Los semiconductores de monocristales de telururo de cadmio (CdTe) y telururo de cadmio-cinc (CZT) "en masa" son útiles, por ejemplo, como detectores de rayos X y rayos gamma que tienen aplicación en la selección de seguridad, formación de imágenes médica y exploración espacial, entre otras cosas.

Para muchas aplicaciones, se desea disponer de monocristales de gran tamaño y grosor, que se pueden formar rápidamente con una uniformidad óptima y mínimas impurezas.

Cuando se requieren diferentes materiales semiconductores para diferentes usos, también puede ser útil conectar eléctricamente entre sí diferentes materiales semiconductores. Por ejemplo, en el caso de un detector, se conoce conectar un material detector semiconductor a un circuito semiconductor usando uniones con hielos o uniones a tope. Puede ser difícil conformar monocristales distintos en una estructura coherente.

Tradicionalmente, los monocristales se han formado usando técnicas de solidificación directa, tales como los procedimientos de Bridgman, de calentador por desplazamiento (THM), congelación con gradiente (GF) u otros procedimientos de crecimiento de cristales en fase líquida o en fase vapor con autoiniciadores en los que se hace crecer los cristales desde una masa fundida. Con estos procedimientos convencionales, ha sido difícil formar cristales de alta calidad de forma consistente, o formar monocristales con un diámetro mayor de 25 mm o 50 mm. En particular, con estos procedimientos conocidos de formación de cristales, se forman fácilmente dislocaciones, uniones subgranulares y dobles. Para los procedimientos de Bridgman de alta presión, también existe el problema potencial de la formación de tubos.

Estos problemas son problemas particulares cuando se forman cristales de CdTe. La inclusión de cinc para preparar CZT reduce estos problemas de algún modo ya que el cinc fortalece la red. Sin embargo, la segregación de cinc en la interfaz de solidificación puede dar como resultado perfiles de composición axial de diversas calidades. Además, se requieren temperaturas más altas para el crecimiento de CZT, y esto no es deseable. Además, el proceso tiende a formar precipitados e inclusiones debido al exceso de telurio en la masa fundida. Las inclusiones de telururo pueden tener un tamaño de decenas de micrómetros y esto puede ser significativo para aplicaciones del detector. Además, habrá una nube de dislocación asociada con cada inclusión que afectará al rendimiento de los detectores formados a partir del cristal.

En la patente europea n.º EP-B-1019568 se describe un procedimiento de formación de cristales usando una técnica física en fase vapor. Este procedimiento se conoce como Transporte Físico en Fase Vapor Multitubular (MTPVT). De acuerdo con este procedimiento, se proporciona un cristal iniciador o punto de crecimiento del material que se va a hacer crecer. Se proporciona material en fase vapor al cristal iniciador o punto de crecimiento, lo que provoca la nucleación y el posterior depósito del material para hacer crecer el cristal sobre el cristal iniciador o punto de crecimiento. El cristal iniciador o punto de crecimiento debe ser similar en material y estructura al material de cristal que se va a hacer crecer, siendo, por ejemplo una variación menor o dopada de la composición de cristal. En particular, el documento EP-B-1019568 describe un procedimiento en el que se dispone el cristal iniciador o punto de crecimiento en una zona de crecimiento que está conectada a la región de fuente a través de una vía de paso que puede transportar vapor desde la región de fuente a la región de crecimiento. La temperatura en las regiones de fuente y de crecimiento se puede controlar de forma independiente, estando las regiones térmicamente aisladas.

El procedimiento de Transporte Físico en Fase Vapor Multitubular descrito en el documento EP-B-1019568 puede producir cristales de una calidad mayor y más uniforme. Sin embargo, sigue existiendo el problema de que el tamaño de los cristales que se pueden hacer crecer es limitado ya que el cristal no puede ser más grande que el cristal iniciador sobre el que se hace crecer.

Se conoce proporcionar grandes sustratos formados a partir de materiales tales como arseniuro de galio o silicio y depositar una película fina de monocristal de telururo de cadmio o telururo de cadmio-cinc. Las películas finas se pueden depositar usando técnicas de crecimiento de película fina tales como epitaxia por haces moleculares, deposición química de vapor, pulverización catódica, deposición química de vapor metalorgánico (MOCVD), epitaxia

en fase vapor metalorgánica (MOVPE) y epitaxia en fase líquida (LPE). Estos procedimientos permiten el crecimiento de la capa de película fina de monocristal a velocidades de entre 0,1 y 1  $\mu\text{m}$  por hora, y por lo tanto, el grosor de la capa es muy limitado. De forma típica, el grosor máximo de dichas películas finas varía de 1 a 10  $\mu\text{m}$ . Aunque se puede formar una película fina sobre un sustrato para dar un cristal semiconductor de área grande, dicha película no es adecuada para su uso como detector para rayos X y rayos gamma. Cuando se detectan rayos X y rayos gamma, es necesario proporcionar un grosor suficiente de material para detener los fotones de alta energía. Para capturar el 90 % de la radiación incidente a una energía de fotón de 100 keV, es necesario que la capa de CdTe tenga un grosor de aproximadamente 11 mm. Con el uso de procedimientos típicos para el crecimiento de películas finas, esto llevaría alrededor de 10 000 horas. Por lo tanto, no se pueden hacer crecer cristales adecuados usando procedimientos de deposición de película fina.

También se conoce que se pueden usar técnicas de serigrafía para depositar una capa gruesa de material sobre un sustrato, estas capas no son capas de monocristales, y por lo tanto, no son adecuadas para la detección de rayos X y rayos gamma.

En general, se ha considerado que las desigualdades de cristales entre un sustrato de un primer material de cristal en masa y un segundo material de cristal en masa con diferentes estructuras de red evitaría la formación del segundo material de cristal en masa sobre dichos sustratos, o daría como resultado tensiones inaceptables entre los materiales afectando a la inaceptabilidad del dispositivo. Por ejemplo, en general no se consideró posible proporcionar un material de cristal de telururo de cadmio, que tendrá un parámetro de red  $a = 6,481 \text{ \AA}$  ( $10 \text{ \AA} = 1 \text{ nm}$ ) directamente sobre un sustrato de silicio que tendrá un parámetro de red  $a = 5,4309 \text{ \AA}$  debido a la desigualdad de red. En consecuencia, esto limita el material de cristal en masa que se puede hacer crecer en cualquier sustrato dado.

Sin embargo, recientes desarrollos han sugerido que la inclusión de una capa intermedia y región de transición entre el sustrato y el material de cristal en masa permite un cambio gradual en la estructura del cristal entre el sustrato y el cristal en masa que puede compensar cualquier desigualdad en la estructura de la red del sustrato y del material de cristal depositado y describe dispositivos fabricados de este modo, véase, por ejemplo, el documento WO 2007/072023 A1.

La invención se refiere dispositivos formados a partir de heteroestructuras que comprenden un material semiconductor del grupo II-VI y otro material semiconductor con funcionalidad potenciada, en especial cuando se forma de acuerdo con los procedimientos descritos anteriormente. La invención se define por los términos de las reivindicaciones.

Así, de acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona una heteroestructura de dispositivo semiconductor compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, que forma un dispositivo detector híbrido que comprende un primer material detector semiconductor de cristal en masa, y un segundo material detector semiconductor de cristal en masa, dispuesto sobre una superficie del primer material semiconductor de cristal en masa, siendo el segundo material semiconductor de cristal en masa un material del grupo II-VI que comprende  $\text{Cd}_{1-(a+b)}\text{Mn}_a\text{Zn}_b\text{Te}$  en el que  $a$  y/o  $b$  pueden ser cero, distinto del primer material semiconductor de cristal en masa, siendo el primer material de cristal en masa un material para la detección de fotones de una parte de menor energía del espectro que el segundo material de cristal en masa, en el que las porciones de al menos uno de los materiales de cristal en masa y al menos el segundo material semiconductor de cristal en masa tienen un grosor reducido selectivamente para producir un área configurada según un patrón de grosor reducido del dicho material semiconductor de cristal en masa. Preferiblemente, dicho material se retira en su totalidad para exponer un área configurada según un patrón de la superficie del otro material semiconductor de cristal en masa (o capa interfacial cuando esté presente).

El segundo material de cristal en masa puede estar formado directamente sobre el primero. Opcionalmente, puede estar presente una capa o región interfacial formada deliberadamente. La capa de segundo material de cristal en masa se forma preferiblemente sobre un primer material de cristal en masa y/ o sobre una capa o región interfacial formada deliberadamente según sea el caso y/o una capa o región interfacial formada deliberadamente se forma preferiblemente de forma similar sobre un primer material de cristal en masa por un procedimiento de crecimiento de cristales. Es probable que esto sea preferida a la simple unión de capas uniéndose eficazmente una parte de material a otro. El hecho de que los materiales se unan eficazmente en el estado sólido quiere decir que es posible la transferencia de carga a través de la interfaz, dando lugar así a una continuidad de bandas o niveles de energía eléctricamente seleccionables a través del amplio rango espectral.

Los materiales de cristal primero y segundo se forman como cristal en masa, y por ejemplo en uno o ambos casos como un monocristal en masa (donde el cristal en masa, en este contexto indica un grosor de al menos 500  $\mu\text{m}$ , y preferiblemente de al menos 1 mm).

De acuerdo con la invención, se crea una estructura configurada según un patrón reduciendo sustancialmente y en particular retirando en su totalidad al menos uno de los materiales de cristal en masa y el segundo material semiconductor de cristal en masa en el área configurada según un patrón. La estructura compuesta resultante, cuando se considera por medio del grosor de las dos capas, presenta así áreas configuradas según un patrón en las

que están presentes una estructura en masa del primer material semiconductor y una estructura en masa del segundo material semiconductor, y áreas configuradas según un patrón en las que al menos uno de los materiales está ausente en gran medida o en su totalidad, y por ejemplo, la superficie del otro material está expuesta, en la que el un material está ausente en su totalidad. Se pueden aprovechar diferentes funcionalidades de las diferentes regiones, y se pueden desarrollar dispositivos complejos basados en diferentes propiedades de los dos semiconductores que componen la estructura compuesta.

Opcionalmente, se pueden retirar selectivamente porciones tanto de un primer y un segundo material de cristal en masa.

Preferiblemente, cada material de cristal en masa es una estructura semiconductor de monocristal.

El segundo material de cristal en masa es un semiconductor del grupo II-VI que comprende  $Cd_{1-(a+b)}Mn_aZn_bTe$  donde a y/o b pueden ser cero. El primer material de cristal en masa comprende un semiconductor diferente, y en particular comprende un material que no es un semiconductor del grupo II-VI. Por ejemplo, es un semiconductor del grupo III-V o del grupo IV. Se define además en términos de su capacidad para detectar fotones en la reivindicación 1.

En un modo de realización posible, se puede proporcionar una capa interfacial formada deliberadamente entre un primer y segundo material en masa. Cuando esté presente, este deberá tener una estructura de red compatible con el sustrato formado por el primer material de cristal en masa. Un grosor adecuado varía de 25 a 100  $\mu m$ .

La capa intermedia interfacial puede ser del mismo material o de un material diferente al segundo material de cristal en masa.

Preferiblemente, la capa interfacial formada deliberadamente en la región interfacial se forma a partir de al menos una película de un material semiconductor del grupo II-VI. En una aplicación particularmente preferida de la estructura de la invención, se puede usar la estructura compuesta como un detector para la detección de fotones, y por ejemplo, fotones de alta energía de rayos X o rayos gamma. Se conoce que una serie de semiconductores del grupo II-VI son eficaces en la detección de rayos de alta energía o rayos gamma. Por lo tanto, en un dispositivo compuesto configurado según un patrón selectivamente de acuerdo con la invención, se puede lograr una funcionalidad selectiva atribuible a la capa de semiconductor del grupo II-VI.

En un modo de realización particularmente preferida, el primer material semiconductor de cristal en masa también es un material adecuado para la detección de fotones y por ejemplo fotones de rayos X o rayos gamma directa o indirectamente. Este se selecciona para detectar fotones a través de una banda de frecuencia diferente a la del segundo cristal en masa donde en masa se define como un grosor mayor de 500  $\mu m$  de material semiconductor.

La heteroestructura resultante comprende un dispositivo detector híbrido que puede ofrecer un espectro de detección más amplio de lo que podrían por sí solos cualquiera de los materiales que componen el primer o el segundo semiconductor. Dicha aplicación requiere que ambos, el primer y el segundo material comprendan estructuras de cristal en masa, y en particular estructuras de monocristales en masa. No se pudo lograr una detección de fotones eficaz con resultados prácticos usando los dispositivos de película fina.

El segundo material semiconductor de cristal en masa es un material semiconductor del grupo II-VI. En general, esto se ajusta a la detección de radiación a energías mayores tal como radiación ionizante, por ejemplo fotones en el extremo de mayor energía del espectro tal como rayos X o rayos gamma, o radiación de partículas subatómicas. El segundo material semiconductor de cristal en masa se selecciona de telururo de cadmio, telururo de cadmio-cinc (CZT), telururo de cadmio-manganeso (CMT), aleaciones de los mismos, y comprende  $Cd_{1-(a+b)}Mn_aZn_bTe$  cristalino, donde a y/ o b pueden ser cero.

El primer material semiconductor de cristal en masa se selecciona de un material adecuado para detectar, directa o indirectamente, fotones de una parte de menor energía del espectro. Por ejemplo, el primer material se basa en un semiconductor del grupo III-V, o semiconductor del grupo IV. De forma típica, dichos semiconductores se forman más fácilmente como una capa de sustrato inicial y en particular como monocristal en masa, y se puede usar para detectar luz visible o rayos X de energía relativamente menor.

El material del grupo II-VI que se usa como segundo material semiconductor de cristal en masa se selecciona de telururo de cadmio, telururo de cadmio-magnesio, telururo de cadmio-cinc o materiales semiconductores similares como se define en la reivindicación 1, y es adecuado para detectar rayos X / rayos gamma de mayor energía, y el primer material se selecciona de silicio, carburo de silicio, arseniuro de galio, germanio, o materiales semiconductores similares para dar una detección de rayos X de energía generalmente menor. La heteroestructura combinada tiene un espectro de detección eficaz ampliado.

Se puede formar cualquier estructura configurada según un patrón adecuada dentro del segundo semiconductor de cristal en masa que tenga una relación con la aplicación deseada. Por ejemplo, en particular, en relación a las aplicaciones de detector, se pueden retirar selectivamente porciones configuradas según un patrón de la segunda estructura de semiconductor en masa de manera tal que creen una disposición pixelada eficaz. La estructura de disposición pixelada puede comprender una disposición lineal, o una disposición bidimensional. De este modo, se

pueden crear detectores configurados según un patrón complejos.

De acuerdo con la invención, el segundo material semiconductor de cristal en masa se deposita inicialmente como una estructura individual, y en particular un monocristal, sobre el primer material de cristal semiconductor, y a continuación se pueden retirar las áreas configuradas según un patrón selectivamente. De forma conveniente, como se describe con mayor detalle a continuación, las áreas configuradas según un patrón selectivamente se retiran por una técnica fotolitográfica. Como se entenderá, dicha técnica permite que se incorporen patrones altamente controlados y bien escalados en la heteroestructura compuesta.

La heteroestructura de dos capas está formada con o sin una capa interfacial o intermedia depositada deliberadamente sobre el primer material. Dicha estructura puede ayudar en la formación de estructuras de cristal en masa sobre un sustrato a partir de un material que difiere del material del sustrato sobre el que se forman, y en particular que tienen una estructura de red diferente del sustrato subyacente. Estos materiales de capa compuestos pueden tener mejores propiedades físicas y estructurales que los materiales usados convencionalmente, y por lo tanto, pueden tener diferentes aplicaciones. En particular, puede ser más fácil fabricar heteroestructuras compuestas de acuerdo con la invención en las que una estructura de cristal en masa, y en particular una estructura de monocristal en masa, de un material del grupo II-VI definido por la reivindicación 1 se deposita sobre un sustrato de material distinto y posteriormente se retiran áreas configuradas según un patrón de acuerdo con la invención. Para las aplicaciones previstas, es importante que tanto el sustrato como el segundo material se depositen como cristales en masa. Una segunda capa de película fina no produciría la funcionalidad deseada. Se prefiere que el segundo material esté formado sobre el sustrato por medio de un procedimiento de crecimiento de cristales para mantener la continuidad de carga a través de cualquier zona interfacial o de transición. No es probable que la simple unión de capas sea eficaz por este motivo.

La estructura puede incluir una región de transición en la que hay una transición desde el material de la capa interfacial o intermedia formada deliberadamente cuando esté presente, o desde la superficie de la primera capa de cristal en masa donde no está presente una capa interfacial deliberada, al segundo material de cristal en masa. Esto puede incluir una región de cambio gradual desde la composición de la primera capa intermedia de material a la del segundo material de cristal en masa. La región de transición puede tener un grosor de 10 a 500  $\mu\text{m}$ .

En un ejemplo preferido, la región de transición y el segundo cristal en masa se pueden depositar usando la misma técnica de crecimiento, pero con una variación inicial en los parámetros de crecimiento durante el ciclo de crecimiento para cambiar gradualmente la composición y/o la velocidad de crecimiento del material depositado sobre el sustrato. Durante la transición inicial, se forma la región de transición. Después de completar el cambio para que el material del cristal en masa se deposite, la velocidad de crecimiento se puede acelerar para depositar rápidamente el material de cristal en masa. En este caso, se prefiere que un aparato de fabricación incluya un medio para introducir diferentes materiales de fuente para que se depositen sobre el primer material de cristal en masa.

Cuando esté presente, la capa intermedia también se puede formar usando la misma técnica que la región de transición, cuando esté presente, y la segunda capa de cristal en masa.

La estructura de dispositivo de acuerdo con la presente invención se puede formar usando varias técnicas. Se prefiere que uno de los materiales semiconductores distintos se proporcione como un sustrato, sobre el que se deposita la región interfacial, y sobre el que se forma posteriormente el segundo material semiconductor.

Se prefiere que el segundo material semiconductor se deposite sobre la región interfacial usando una técnica de deposición de vapor en masa. Se prefiere que el segundo material de monocristal semiconductor se haga crecer usando un procedimiento de transporte físico en fase vapor multitubular, tal como se describe en el documento EP-B-1019568.

La segunda capa en masa se puede depositar directamente sobre la primera sin la formación de una capa interfacial deliberada. De forma alternativa, se pueden formar una o más capas interfaciales de película fina usando técnicas de depósito de película fina estándar. Estas incluyen epitaxia por haces moleculares, deposición química de vapor, pulverización catódica, deposición química de vapor metalorgánico (MOCVD), epitaxia en fase vapor metalorgánica y epitaxia en fase líquida. Aunque todos estos procedimientos son relativamente lentos, puesto que la capa o capas interfaciales son muy finas, la velocidad de crecimiento de la capa no es de importancia significativa en el procedimiento de fabricación global.

De forma alternativa, se pueden usar técnicas de deposición en fase vapor para hacer crecer la capa o capas interfaciales de película fina sobre el sustrato. Cuando se usan de forma convencional técnicas de deposición en fase vapor para el crecimiento en masa de materiales de cristal, típicamente la velocidad de crecimiento varía de 100 a 500  $\mu\text{m}/\text{hora}$ . En este caso, puede ser necesario para el crecimiento proporcionar una capa subyacente del mismo material que se va a depositar. Sin embargo, cuando las condiciones se ajustan para hacer crecer una película fina a una velocidad de crecimiento que varía de 0,1 a 10  $\mu\text{m}/\text{hora}$ , la película fina se puede hacer crecer sobre un sustrato de material distinto.

Además del primer material de cristal en masa, la capa intermedia en la que está presente una región de transición y el segundo material de cristal en masa, se pueden depositar capas adicionales. Por ejemplo, para el contacto

eléctrico se puede formar una capa de metal tal como una capa de indio, platino, oro o aluminio. De forma alternativa o adicional, se puede proporcionar una capa dieléctrica. Esto es especialmente útil cuando se va a usar la estructura como detector de radiación puesto que la capa dieléctrica puede actuar como un filtro para bloquear la luz visible y el infrarrojo cercano.

- 5 De acuerdo con la reivindicación 10 de la presente invención, se proporciona un procedimiento de formación de una heteroestructura de dispositivo semiconductor compuesto que comprende las etapas de:

proporcionar un primer material semiconductor de cristal en masa;

opcionalmente formar una capa interfacial sobre una superficie del primer material semiconductor de cristal en masa;

- 10 formar un segundo material semiconductor de cristal en masa de un material del grupo II-VI que comprende  $Cd_{1-(a+b)}Mn_aZn_bTe$  cristalino, donde a y/o b pueden ser cero, distinto del primer material semiconductor de cristal en masa sobre la capa interfacial;

- 15 retirar selectivamente áreas de al menos un material de cristal en masa, al menos del segundo material semiconductor de cristal en masa para producir áreas configuradas según un patrón de grosor reducido de material retirado, y en particular para producir áreas configuradas según un patrón en las que la superficie del otro material semiconductor de cristal en masa (o una capa interfacial si está presente) está expuesta.

Opcionalmente, se retiran selectivamente las porciones tanto de un primer y un segundo material de cristal en masa.

- 20 De nuevo, particularmente para las aplicaciones previstas, tales como para su uso como detector de fotones, se prefiere que la primera y/o segunda estructuras de cristal en masa comprendan estructuras de monocristal. De nuevo, la capa de segundo material de cristal en masa se forma de forma deseable sobre un primer material de cristal en masa y/ o sobre una capa o región interfacial como es el caso por un procedimiento de crecimiento de cristales.

- 25 En la aplicación preferida, la capa de material del grupo II-VI funciona como un detector para fotones de alta energía. Requiere una estructura de cristal en masa básica sobre al menos una escala de milímetros. Por ejemplo, la capa es al menos de dos milímetros de grosor. Para la detección de rayos gamma, preferiblemente es de al menos un centímetro de grosor. Sin embargo, una vez la estructura está depositada, es pixelada en lugar de plana porque el material cristalino en masa de la segunda capa se hace crecer y a continuación se retira.

- 30 Por ejemplo, el material del grupo II-VI se selecciona de los materiales definidos en la reivindicación 10, comprendiendo por lo tanto telururo de cadmio, telururo de cadmio-magnesio, telururo de cadmio-cinc o similares, o aleaciones de los mismo, y es adecuado para detectar rayos X / rayos gamma de mayor energía, y el primer material se selecciona de silicio, carburo de silicio, arseniuro de galio, germanio o materiales semiconductores similares para dar una detección de rayos X de energía generalmente menor. La heteroestructura combinada tiene un espectro de detección eficaz ampliado.

- 35 El procedimiento proporciona la formación del segundo material de cristal en masa sobre un sustrato iniciador de un primer material de cristal en masa diferente del segundo material de cristal que se va a formar. Para permitir que se forme el segundo material de cristal sobre el sustrato, se puede formar en primer lugar sobre el sustrato una capa interfacial intermedia, por ejemplo de un material de monocristal, opcionalmente sobre la capa intermedia se forma además una región de transición y se hace crecer el segundo material de monocristal en masa sobre la capa intermedia y/o región de transición por un procedimiento de deposición en fase vapor apropiado. La capa intermedia cuando está presente es, en general, una capa de película fina.

- 40 De acuerdo con el procedimiento, se forma una estructura configurada según un patrón en al menos una de las capas de material de cristal en masa por la retirada sustancial y preferiblemente completa de material en áreas configuradas según un patrón. Las estructuras configuradas según un patrón adecuadas, por ejemplo, que comprenden agrupaciones pixeladas, se analizan a continuación en el presente documento. Cualquier procedimiento para retirar material una vez se haya depositado como una capa en masa individual, y en particular como una capa de monocristal, se puede considerar seleccionado como apropiado para las estructuras configuradas según un patrón deseadas. En general, se requerirán patrones precisos y a pequeña escala. En general, será preferido un procedimiento de grabado por ataque físico o químico.

- 45 En particular, las áreas configuradas según un patrón del material de cristal retirado se retiran usando una técnica fotolitográfica, en la que se aplica un patrón adecuado a la superficie del material de cristal en masa que se va a retirar, y se retira selectivamente, por ejemplo, por grabado por ataque químico adecuado. De forma específica, como será familiar, se aplica una fotorresistencia sensible a radiación e-m a una superficie receptora del material de cristal en masa que se va a retirar, se aplica una fotomáscara que incluye características de patrón apropiado, se expone la fotorresistencia a radiación para desarrollarla en la región no enmascarada, y se aplica un grabado por ataque químico adecuado para grabar el patrón de exposición en el material bajo las áreas expuestas sobre la fotorresistencia. Preferiblemente, se retiran sustancialmente las áreas expuestas. En caso necesario, como será familiar, esto se logrará por ciclos repetidos.

El procedimiento de la presente invención permite que se forme rápidamente una estructura de cristal en masa de alta calidad del segundo material usando procedimientos de deposición física en fase vapor sobre un sustrato del primer material, lo que permite que se forme el grosor requerido de la heteroestructura en un tiempo aceptable. El procedimiento proporciona las ventajas asociadas con los procedimientos de deposición física en fase vapor en términos de velocidad de formación y calidad del material de cristal, mientras que permite que se formen cristales de mayor área que en el caso convencional, y en particular, permite la formación de heteroestructuras en las que se puede formar un patrón en al menos la segunda capa.

Aunque una ventaja de la presente invención es la capacidad para producir heteroestructuras de gran tamaño de materiales de cristal en masa para su uso en detectores grandes o similares, es posible dividir la estructura en piezas más pequeñas. Al producir una gran pieza de heteroestructura de cristal y a continuación dividir esta en piezas más pequeñas, se considera posible producir el material de cristal requerido más rápidamente y con mayor consistencia de lo que sería el caso si se formaran individualmente las piezas más pequeñas requeridas. Se puede desarrollar un patrón en una o ambas capas antes o después de esta etapa de división.

En un modo de realización, se forma una capa intermedia o interfacial para acomodar la desigualdad del cristal. La capa intermedia se puede formar usando técnicas de deposición de película fina convencionales sobre un sustrato del primer material de cristal en masa. Estas incluyen epitaxia por haces moleculares, deposición química de vapor, pulverización catódica, deposición química de vapor metalorgánico (MOCVD), epitaxia en fase vapor metalorgánica y epitaxia en fase líquida. Aunque todos estos procedimientos son relativamente lentos, puesto que la capa intermedia solo necesita ser muy fina, la velocidad de crecimiento de la capa no es de importancia significativa en el procedimiento de fabricación global.

En un modo de realización alternativa, se usan técnicas de deposición física en fase vapor para hacer crecer la capa intermedia de película fina sobre un sustrato del primer material de cristal en masa. Cuando se usan técnicas de deposición en fase vapor para hacer crecer los materiales de cristal, típicamente, a una velocidad de crecimiento de 100 a 500  $\mu\text{m}/\text{hora}$ , es necesario para el crecimiento proporcionar una capa subyacente del mismo material al que se va a depositar. Sin embargo, cuando las condiciones se ajustan para hacer crecer una película fina a una velocidad de crecimiento de 1 a 10  $\mu\text{m}/\text{hora}$ , la película fina se puede hacer crecer sobre un iniciador externo tal como el que se proporciona por una superficie receptora del primer material de cristal en masa.

Opcionalmente, se deposita una región de transición de forma inmediata sobre la capa intermedia donde está presente, o de forma inmediata sobre la superficie del material de cristal en masa. La región de transición opcional y el segundo material de cristal en masa se pueden depositar usando la misma técnica de crecimiento, pero con una variación en los parámetros de crecimiento durante el ciclo de crecimiento para acelerar gradualmente la velocidad de crecimiento. En particular, cuando el material se deposita inicialmente sobre un sustrato, la velocidad de crecimiento será lenta, lo que permite que los materiales estén apropiadamente nucleados y formados. Después del depósito de este material inicial, los parámetros de crecimiento se pueden cambiar para incrementar la velocidad de formación del material de cristal. Cuando se usa la misma técnica para formar la capa intermedia, habrá una región inicial en la que el depósito cambie de un depósito de tipo película fina, lento a un depósito de cristal en masa, más rápido. Este cambio puede ser un cambio gradual, o puede ser un cambio rápido.

En un modo de realización preferida del procedimiento, la región de transición donde esté presente y/o el material de cristal en masa se hace crecer usando un procedimiento de transporte físico en fase vapor en múltiples tubos (MTPVT), tal como el descrito en el documento EP-B-1019568.

El sustrato iniciador comprende un primer material semiconductor de cristal en masa. Este se puede formar a partir de diversos materiales. Sin embargo, los materiales preferidos para estos sustratos son los semiconductores del grupo IV o del grupo III-V tales como silicio o arseniuro de galio. Una ventaja de la formación de cristales sobre un sustrato de silicio o arseniuro de galio es que estos sustratos tienen una resistencia mecánica buena. Esto ayuda a garantizar que el segundo material de cristal en masa se forme de forma consistente sobre el sustrato, y también ayuda a mantener la integridad del material formado en el procesamiento, uso y posterior transporte. Para la aplicación preferida, dichos materiales son además ventajosos ya que se pueden usar como detectores de radiación, dando ambas capas de una estructura esta función.

El sustrato puede ser de cualquier tamaño requerido, dependiendo del tamaño requerido del material de cristal. Sin embargo, se prefiere que el sustrato tenga un diámetro mayor de 25 mm, preferiblemente mayor de 50 mm, y lo más preferiblemente de al menos 150 mm. El sustrato puede ser tan grande como esté disponible en el tiempo.

El segundo material de cristal en masa es un semiconductor del grupo II-VI que puede incluir telururo de cadmio y telururo de cadmio-cinc (CZT), telururo de cadmio-manganeso (CMT), y materiales semiconductores similares o combinaciones de los mismos, como se define por la reivindicación 10. El material es, por ejemplo  $\text{Cd}_{1-(a+b)}\text{Mn}_a\text{Zn}_b\text{Te}$  donde a y/ o b pueden ser cero.

Ahora se describirá la invención a modo de ejemplo con referencia a las Figuras 1 a 3 de las reivindicaciones adjuntas, en las que:

la Figura 1 muestra un dispositivo de transporte físico en fase vapor multitubular para hacer crecer estructuras de

acuerdo con la presente invención;

la Figura 2 muestra una sección transversal de una estructura de material de acuerdo con la presente invención,

la Figura 3 muestra una sección transversal de una estructura de material de acuerdo con la presente invención.

5 En la Figura 1 se muestra un aparato preferido para la formación de una estructura de acuerdo con la presente invención. El aparato es adecuado para formar materiales de monocristales en masa de material de II-VI sobre un sustrato de monocristal en masa de un material diferente. En general, los materiales de cristal tendrán un grosor de al menos 500  $\mu\text{m}$ .

10 El aparato comprende un tubo en U evacuado en forma de una envoltura de cuarzo 20 recubierto en una camisa de vacío 21. Se proporcionan dos hornos tubulares verticales 22, 23 de tres zonas separadas para la región de fuente 24 y la zona de crecimiento 25, respectivamente. La región de fuente está en comunicación con la entrada de gas o la bomba en la dirección de la flecha, un reductor de caudal 24a en la fuente que permite la entrada de gas. La zona de crecimiento está provista de un soporte de sustrato y un reductor de flujo corriente abajo 25a y comunica con la bomba o la camisa de vacío en la dirección de la flecha.

15 Las zonas de fuente y de crecimiento están conectadas por un miembro de cruce horizontal 27 calentado ópticamente unido a ellas por medio de uniones esmeriladas 29 formando un paso 26. Se proporciona un reductor de caudal 28 en el paso 26. El paso comprende dos puntos separados de desviación (en cada caso en un ángulo de 90°) proporcionando cinco uniones respectivas entre pasos divergentes para la monitorización in situ y el transporte de vapor desde la fuente a la zona de crecimiento. Se proporcionan ventanas que permiten el acceso óptico a la fuente y al crecimiento respectivamente.

20 La temperatura de la superficie del cristal en crecimiento en la zona de crecimiento se puede monitorizar por un pirómetro u otro aparato de diagnóstico óptico situado externo a la camisa de vacío y en comunicación óptica con la superficie del cristal en crecimiento. El aparato de diagnóstico está en comunicación con un sistema de control adecuado para variar la temperatura de la zona de crecimiento. El aparato también comprende medios para monitorizar in situ la presión de vapor por puertos de acceso de 33 a 36 en la región del reductor de caudal 28, a través de los que se pueden dirigir las lámparas de monitorización de presión y los componentes ópticos 30 desde una posición externa a la camisa de vacío con detectores 37 situados como se muestra en una posición adyacente a los puertos de acceso 35, 36 diametralmente opuestos con respecto al paso para el transporte de vapor 26. Estos están unidos adecuadamente a un sistema de control previsto para el control del procedimiento.

30 El tubo de la fuente, el tubo de crecimiento y el miembro de cruce, en los que tiene lugar el transporte, están fabricados de cuarzo y el sistema es desmontable con uniones esmeriladas 29 entre el miembro de cruce y los dos tubos verticales lo que permite la retirada de cristales que han crecido y la reposición de material de fuente. Los revestimientos de radiación (no mostrados por claridad) junto con la camisa de vacío 21 que rodea a todo el sistema proporcionan un aislamiento térmico. Un reductor de caudal 28 tal como un capilar o disco de cuarzo sinterizado está situado en el centro del paso 26 definido por el miembro de cruce 27. El crecimiento tiene lugar sobre un sustrato situado en un bloque de cuarzo en el tubo de crecimiento con el espacio entre este bloque de vidrio y el recubrimiento de cuarzo formando el reductor de caudal corriente abajo. Se ha previsto una entrada de gas al tubo de fuente y el tubo de crecimiento puede ser bombeado por un sistema de bombeo separado o por conexión a la camisa de vacío por medio de un tubo de descarga fría.

40 Se pueden disponer varios tubos de fuente adicionales. En este caso, los tubos de fuente adicionales pueden incluir diferentes materiales para el depósito, e incluirán calentadores separados.

En la Figura 2 se muestra una estructura de ejemplo de un dispositivo de acuerdo con la presente invención. El dispositivo es una heteroestructura de un detector de fotones de menor y mayor energía.

45 Haciendo referencia a la Figura 2, se ilustra un dispositivo de heteroestructura ejemplo para la detección de radiación electromagnética en el espectro de rayos X / rayos gamma. En el modo de realización particular, esto se ha preparado de acuerdo con el procedimiento y el uso del aparato descrito con referencia a la Figura 1, aunque el aspecto estructural de la invención no queda limitado a un procedimiento de fabricación particular, y se pueden sugerir al experto en la técnica otros procedimientos adecuados.

50 El dispositivo de heteroestructura incluye una capa de arseniuro de galio o silicio 101 que constituye un primer material semiconductor de cristal en masa, y sirve como sustrato para la aplicación del procedimiento descrito con referencia a la Figura 1. La capa de silicio / GaAs puede tener un grosor mayor de 100  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de al menos 200  $\mu\text{m}$  para una estabilidad mecánica y puede tener cualquier tamaño disponible. En la aplicación destinada del modo de realización, el dispositivo de heteroestructura es un detector para radiación electromagnética. Se adapta una capa de silicio para proporcionar un detector para radiación de rayos X de menor energía o luz visible. Su grosor se puede seleccionar en consecuencia.

55 Como apreciará el experto en la técnica, el arseniuro de galio da un perfil de absorción de rayos X diferente, y en particular es probable que sea útil para la detección en algún modo de rayos X de energía mayor que, en general, es

el caso con silicio.

- La estructura incluye una segunda capa 102 de un material semiconductor del grupo II-VI de acuerdo con la invención. La segunda capa incluye opcionalmente una capa interfacial intermedia de película fina formada deliberadamente y/o región de transición que se fija en primer lugar, sobre el sustrato de silicio, por ejemplo de
- 5 acuerdo con el procedimiento precedente, y una capa de semiconductor de monocristal en masa que se desarrolla a continuación. De acuerdo con el procedimiento, se selecciona una fuente para depositar inicialmente una capa intermedia con el grosor de 10 a 1000  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en la región de 100 a 700  $\mu\text{m}$ . De forma típica, es suficiente un grosor de 10  $\mu\text{m}$  para que crezcan dislocaciones no adaptadas. Una capa más gruesa puede ayudar a garantizar que cualquier tensión atribuible a una desigualdad en la red se sitúe principalmente en el sustrato.
- 10 Después de formar la capa de transición opcional, se puede depositar un material de monocristal en masa. Si este es de un material diferente, esto se puede conseguir de acuerdo con el procedimiento de la Figura 1 cambiando el material de fuente. En el modo de realización, toda la capa del segundo material comprende telururo de cadmio, telururo de cadmio-cinc o una mezcla de los mismos, y la capa intermedia opcional no está identificada por separado en la Figura, y puede no ser, de forma específica ni identificable, distinta en el producto.
- 15 La segunda capa 102 de CdTe/CZT está destinada a actuar como un detector para fotones de energía alta, y por ejemplo rayos X o rayos gamma de mayor energía, que en la primera capa. En consecuencia, se selecciona un grosor apropiado. Por ejemplo, para la detección de rayos X, la segunda capa es preferiblemente de al menos 1 mm de grosor y más preferiblemente de al menos 2 mm de grosor. Para la detección de rayos gamma, la segunda capa es preferiblemente de al menos 10 mm de grosor. Esto da a la heteroestructura resultante una capacidad para
- 20 detectar radiación incidente en un espectro más amplio que lo que puede cualquier material solo.

La clave de la invención es que una vez que se ha depositado sobre el sustrato una capa de segundo material de cristal en masa, las áreas se retiran selectivamente para dejar regiones de patrones que comprenden una disposición pixelada mono o bidimensional de segundo material sobre la primera capa de material.

- En un modo de funcionamiento preferido, se ilustra por la flecha una dirección incidente de radiación preferida. La radiación, en primer lugar, es incidente sobre la capa de silicio, que detecta rayos X de menor energía de manera normal. Los rayos X / rayos gamma de mayor energía pasan a través de la capa de silicio y son incidentes sobre las estructuras de CdTe/CZT pixeladas en las regiones en las que están presentes. En estas regiones, se obtiene una respuesta doble, detectándose también los rayos X / rayos gamma de mayor energía. En las regiones en las que la segunda capa está ausente, sólo se detectan los rayos X de menor energía. Seleccionando patrones apropiados,
- 25 por ejemplo empleando una técnica fotolitográfica de alta precisión que en general será familiar, se pueden desarrollar disposiciones pixeladas altamente detalladas en la segunda capa para aprovechar su funcionalidad.

Será evidente que el dispositivo podría trabajar en la práctica en relación a la radiación incidente desde cualquier dirección.

- 35 Para completar la estructura en el modo de realización ilustrado, se fija una capa de pasivación 103 sobre la capa de silicio para su protección, y se incorporan estructuras de electrodo 104 en la heteroestructura.

- De manera conveniente, se usa el procedimiento de la Figura 1. En primer lugar, se trata el sustrato de silicio para retirar cualquier óxido. Este tratamiento puede incluir grabado por ataque químico o calentamiento del sustrato hasta una temperatura alta en un vacío ultra alto. El sustrato de silicio se dispone en la cámara de crecimiento, con fuentes separadas de telururo de cinc y telururo de cadmio. De acuerdo con un modo de realización, se forma deliberadamente como una región de transición una capa intermedia que sirve como capa interfacial. Para algunos materiales esto puede ser deseable. En otros casos, se puede depositar directamente una segunda capa en masa.
- 40

- La temperatura preferida para el crecimiento del material de cristal es de aproximadamente 700  $^{\circ}\text{C}$ , y en consecuencia, la temperatura del sustrato de silicio se incrementa hasta esta temperatura. La temperatura de las fuentes de telururo de cinc y telururo de cadmio se incrementa después a una velocidad de aproximadamente 2  $^{\circ}\text{C}$  por minuto hasta que la temperatura de estos alcance la misma temperatura que la del sustrato. A continuación, la temperatura de la fuente de telururo de cadmio se mantiene a este nivel, mientras que la temperatura de la fuente de telururo de cinc se incrementa a la misma velocidad hasta una temperatura de aproximadamente 870  $^{\circ}\text{C}$ . Cuando la fuente de telururo de cinc alcanza una temperatura de aproximadamente 870  $^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas de los materiales de sustrato y de fuente se mantienen durante aproximadamente 5 horas. Esto provoca el crecimiento de una capa intermedia de telururo de cinc hasta un grosor de aproximadamente 50  $\mu\text{m}$  sobre el sustrato. A continuación, la temperatura del sustrato se mantiene a aproximadamente 700  $^{\circ}\text{C}$  y la temperatura de la fuente de telururo de cinc se mantiene a aproximadamente 870  $^{\circ}\text{C}$  mientras que la temperatura de la fuente de telururo de cadmio se incrementa hasta la misma temperatura que el material de fuente de telururo de cinc a una velocidad de aproximadamente 2  $^{\circ}\text{C}$  por minuto. A medida que se calienta el material de telururo de cadmio, la capa de material que ha crecido sobre el sustrato cambiará gradualmente de composición en una región de transición del material de telururo de cinc de la capa interfacial intermedia a un material de telururo de cadmio-cinc con aproximadamente un 4 % de cinc. La región de transición resultante tendrá un grosor de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . La región de transición se podría reducir en grosor incrementando la velocidad de incremento de temperatura de la fuente de telururo de cadmio, o se podría hacer más grueso disminuyendo la velocidad del incremento de temperatura. A continuación, el material de telururo
- 50
- 55

de cadmio-cinc de cristal en masa se depositará mientras que las temperaturas de los materiales de fuente se mantienen a una temperatura mayor que el sustrato. La composición exacta del material de cristal en masa depositado se puede controlar variando la temperatura relativa de los dos materiales de fuente.

5 En un ejemplo alternativo, la capa intermedia se deposita sobre la superficie superior de la placa iniciadora por un procedimiento de deposición de película fina convencional. Los procedimientos adecuados incluyen procedimientos de epitaxia por haces moleculares, deposición química de vapor, pulverización catódica, deposición química de vapor metalorgánico (MOCVD), epitaxia en fase vapor metalorgánica y epitaxia en fase líquida. La capa de película fina del material de cristal requerido se deposita o se hace crecer sobre el sustrato en una velocidad típica de entre 0,1 y 10  $\mu\text{m}$  por hora, aunque podría ser mayor. Sin embargo, sólo se requiere una capa muy fina para que se forme sobre la superficie superior del sustrato, teniendo típicamente un grosor de aproximadamente 1 a 10  $\mu\text{m}$ , aunque podría ser mayor. El grosor de película debería ser de al menos 1  $\mu$  para garantizar que la capa esté completamente relajada. El grosor máximo de la capa es preferiblemente de 10  $\mu\text{m}$  de modo que la capa se pueda formar dentro de un tiempo aceptable.

15 Después de la formación de la película fina sobre la superficie superior del sustrato, se retira el sustrato de la cámara de crecimiento, y se trata, por ejemplo limpiándose y puliéndose. A continuación, se proporciona el sustrato para el crecimiento de la región de transición y el material de cristal en masa usando un procedimiento físico en fase vapor.

La Figura 3 muestra un dispositivo de heteroestructura alternativo preparado de acuerdo con los mismos principios que la Figura 2. De nuevo, se proporciona una capa de base 111 de arseniuro de galio o silicio sobre la que se deposita una segunda capa 112 de CdTe/CZT.

20 De nuevo, se desarrolla una estructura configurada según un patrón en la capa superior por la retirada de áreas seleccionadas para dejar las estructuras en un patrón adecuado, y por ejemplo formar una disposición pixelada. Sin embargo, en ese caso también se desarrolla un patrón 115 en la capa de Si o GaAs. El dispositivo de heteroestructura se completa de manera similar a la de la Figura 2 disponiendo capas de pasivación en las áreas en las que el semiconductor de arseniuro de galio o silicio está expuesto, y la incorporación de electrodos 114.

25 De forma típica, la región de transición será muy pequeña en comparación con el sustrato y el material de cristal en masa, y por lo tanto, los efectos se consideran insignificantes en el dispositivo en conjunto.

A continuación, en la Tabla 1 se presentan ejemplos de posibles estructuras, dando el primer material de cristal en masa, capa intermedia y segundo material de cristal en masa.

Ejemplo	Primer material de cristal en masa	Capa intermedia + elementos traza	Segundo material de cristal en masa	Estructura global
1	Si	CdTe	CdTe	Si : CdTe : CdTe
2	Si	CZT	CZT	Si : CZT : CZT
3	Si	CZT	CdTe	Si : CZT : CdTe
4	Si	CdTe	CZT	Si : CdTe : CZT
5	Si	CdMnTe	CdMnTe	Si : CdMnTe : CdMnTe
6	Si	0	CdTe	Si : CdTe
7	Si	0	CZT	Si : CZT
8	Si	0	CdMnTe	Si : CdMnTe
9	GaAs	CdTe	CdTe	GaAs : CdTe : CdTe
10	GaAs	CZT	CZT	GaAs : CZT : CZT
11	GaAs	CZT	CdTe	GaAs : CZT : CdTe
12	GaAs	CdTe	CZT	GaAs : CdTe : CZT
13	GaAs	CdMnTe	CdMnTe	GaAs : CdMnTe : CdMnTe
14	GaAs	0	CdMnTe	GaAs : CdMnTe
15	GaAs	0	CdTe	GaAs : CdTe
16	GaAs	0	CZT	GaAs : CZT
17	Ge	CdTe	CdTe	Ge : CdTe : CdTe
18	Ge	CZT	CZT	Ge : CZT : CZT

Ejemplo	Primer material de cristal en masa	Capa intermedia + elementos traza	Segundo material de cristal en masa	Estructura global
19	Ge	CZT	CdTe	Ge : CZT : CdTe
20	Ge	CdTe	CZT	Ge : CdTe : CZT
21	Ge	CdMnTe	CdMnTe	Ge : CdMnTe : CdMnTe
22	Ge	0	CZT	Ge : CZT
23	Ge	0	CdTe	Ge : CdTe
24	Ge	0	CdMnTe	Ge : CdMnTe
25	Carburo de silicio	CdTe	CdTe	Carburo de silicio : CdTe : CdTe
26	Carburo de silicio	CZT	CZT	Carburo de silicio : CZT : CZT
27	Carburo de silicio	CZT	CdTe	Carburo de silicio : CZT : CdTe
28	Carburo de silicio	CdTe	CZT	Carburo de silicio : CdTe : ZT
29	SiC	CdS	CdTe	SiC : CdS : CdTe
30	SiC	Cds	CZT	SiC : CdS : CZT
31	SiC	CdMnTe	CdMnTe	SiC : CdMnTe : CdMnTe
32	SiC	0	CdMnTe	SiC : CdMnTe
33	SiC	0	CdTe	SiC : CdTe
34	SiC	0	CZT	SiC : CZT

Tabla 1: Ejemplos de posibles estructuras

Una ventaja particular de los dispositivos fabricados de acuerdo con la presente invención es que los diferentes materiales usados para formar el sustrato, la capa intermedia y el material de cristal en masa pueden proporcionar diferentes funciones en el dispositivo final. Por ejemplo, en los modos de realización de ejemplo de un sustrato de silicio o GaAs, material de cristal en masa de telururo de cadmio, el material de telururo de cadmio se puede usar para detectar fotones de alta energía, mientras que el sustrato de silicio o GaAs puede detectar fotones de menor energía.

5

Cuando se usa, como en el modo de realización preferida, el material para la detección de radiación, el grosor requerido del material será dependiente de la energía que se va a absorber. Para telururo de cadmio, telururo de cadmio-cinc y telururo de cadmio-manganeso, el grosor de material requerido para la absorción de radiación de varias energías se expone en la Tabla 2 a continuación.

10

Energía del fotón	Grosor requerido para una absorción del 50 %
50 keV	0,007 cm
100 keV	0,07 cm
200 keV	0,35 cm
500 keV	1,2 cm
750 keV	1,7 cm
1-10 MeV	2,3 -3,5 cm

Tabla 2 - grosor de material requerido para diversas energías

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una heteroestructura de dispositivo semiconductor compuesto que forma un dispositivo detector híbrido que comprende un primer material detector semiconductor de cristal en masa (101, 111) adecuado para la detección de fotones de una parte de menor energía del espectro electromagnético, y un segundo material detector semiconductor de cristal en masa (102, 112) adecuado para la detección de fotones de una parte de mayor energía del espectro electromagnético dispuesto sobre una superficie del primer material semiconductor de cristal en masa, siendo el segundo material detector semiconductor de cristal en masa un material del grupo II-VI que comprende 10  $Cd_{1-(a+b)}Mn_aZn_bTe$  cristalino, donde a y/o b pueden ser cero, distinto del primer material semiconductor de cristal en masa, siendo el primer material detector semiconductor de cristal en masa (101, 111) un material para la detección de fotones de una parte de menor energía del espectro que el segundo material de cristal en masa, donde las porciones de al menos el segundo material semiconductor de cristal en masa tienen un grosor selectivamente reducido para producir un área configurada según un patrón de grosor reducido de dicho material semiconductor de cristal en masa
- 15 2. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 1, en la que las porciones de un primer y de un segundo material detector semiconductor de cristal en masa tiene un grosor selectivamente reducido.
- 20 3. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que las porciones de al menos un material semiconductor de cristal en masa tienen un grosor reducido hasta cero de modo que dicha estructura de dispositivo semiconductor compuesto está dividida en porciones de dicho al menos un material semiconductor de cristal en masa separado por porciones expuestas, exponiéndose esas porciones expuestas la superficie del otro material semiconductor de cristal.
- 25 4. Una estructura de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las porciones configuradas según un patrón de la estructura de semiconductor en masa configurada según un patrón están estructuradas de tal manera que crean una disposición pixelada eficaz, por ejemplo, una disposición lineal o disposición superficial.
5. Una estructura de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el primer material de cristal en masa (101, 111) comprende un material semiconductor que no es un semiconductor del grupo II-VI.
6. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 5, en la que el primer material de cristal en masa (101, 111) comprende un sustrato de silicio, arseniuro de galio, carburo de silicio o germanio.
- 30 7. Una estructura de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el primer material de cristal en masa (101, 111) tiene un grosor de al menos 100  $\mu m$ , preferiblemente de al menos 200  $\mu m$ .
8. Una estructura de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el segundo material de cristal en masa (102, 112) tiene un grosor de al menos 0,5 mm, preferiblemente de al menos 10 mm.
- 35 9. Una estructura de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el primer y/o segundo cristal en masa es un monocristal.
10. Un procedimiento de formación de una heteroestructura de dispositivo semiconductor compuesto que forma un dispositivo detector híbrido que comprende las etapas de:
  - 40 disponer un primer material detector semiconductor de cristal en masa (101, 111) adecuado para la detección de fotones de una parte de menor energía del espectro electromagnético, siendo el primer material detector semiconductor de cristal en masa (101, 111) un material para la detección de fotones de una parte de menor energía del espectro que el segundo material de cristal en masa;
  - opcionalmente formar una capa interfacial sobre una superficie del primer material semiconductor de cristal en masa;
  - formar un segundo material detector semiconductor de cristal en masa (102, 112) adecuado para la detección de fotones de una parte de mayor energía del espectro electromagnético de un material del grupo II-VI que comprende 45  $Cd_{1-(a+b)}Mn_aZn_bTe$  cristalino, donde a y/ o b pueden ser cero, distinto del primer material semiconductor de cristal en masa sobre el mismo;
  - retirar selectivamente áreas de al menos el segundo material semiconductor de cristal en masa para producir áreas configuradas según un patrón de grosor reducido del material retirado.
- 50 11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el que se retiran en su totalidad porciones de al menos un material semiconductor en masa, dando como resultado un grosor reducido de cero, de modo que el material está totalmente ausente y dicha estructura de dispositivo semiconductor compuesto está dividida en porciones de dicho al menos un material semiconductor de cristal en masa separado por porciones expuestas, exponiendo esas porciones expuestas la superficie del otro material semiconductor de cristal.

12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 u 11, en el que el material se retira para formar una disposición pixelada, por ejemplo, una disposición lineal o disposición superficial.
13. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que el material se retira por un procedimiento fotolitográfico.
- 5 14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, en el que se aplica una fotorresistencia sensible a radiación electromagnética (em) a una superficie receptora del material de cristal en masa que se va a retirar, se aplica una fotomáscara que incluye características de patrón apropiado, se expone la fotorresistencia a radiación para desarrollarla en la región no enmascarada, y se aplica un grabado por ataque químico adecuado para grabar el patrón de exposición en el material de cristal en masa bajo las áreas expuestas sobre la fotorresistencia.
- 10 15. El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que el primer material de cristal en masa (101, 111) es un sustrato de silicio, arseniuro de galio, carburo de silicio o germanio.

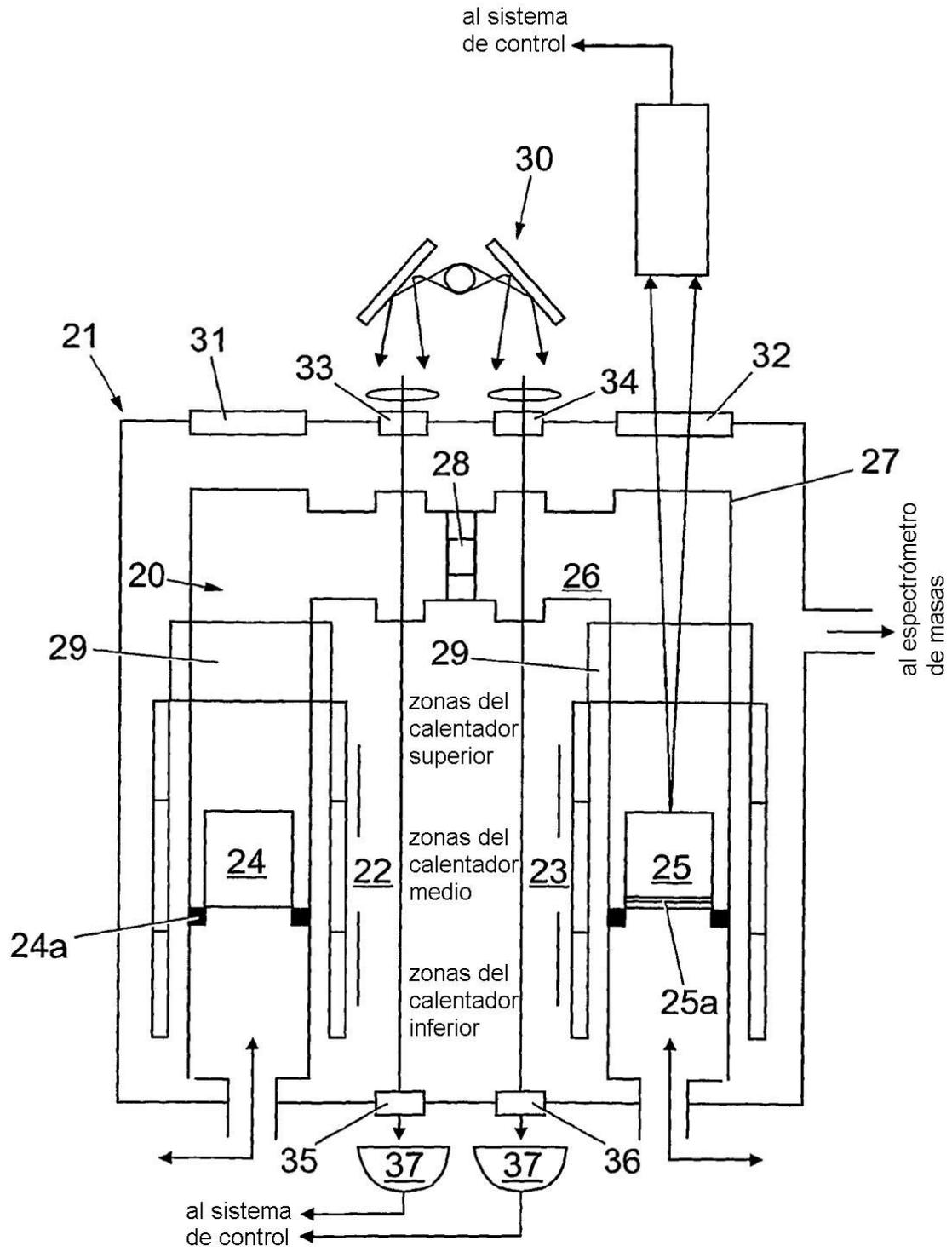


Fig. 1

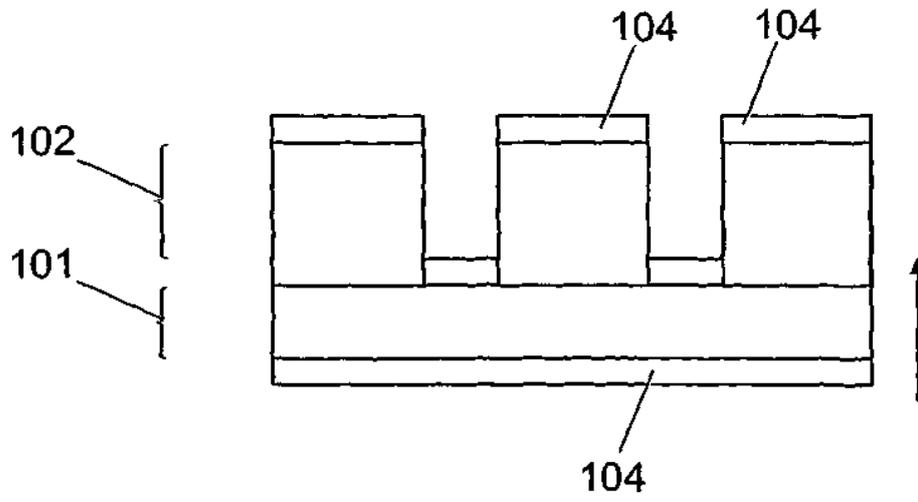


Fig. 2

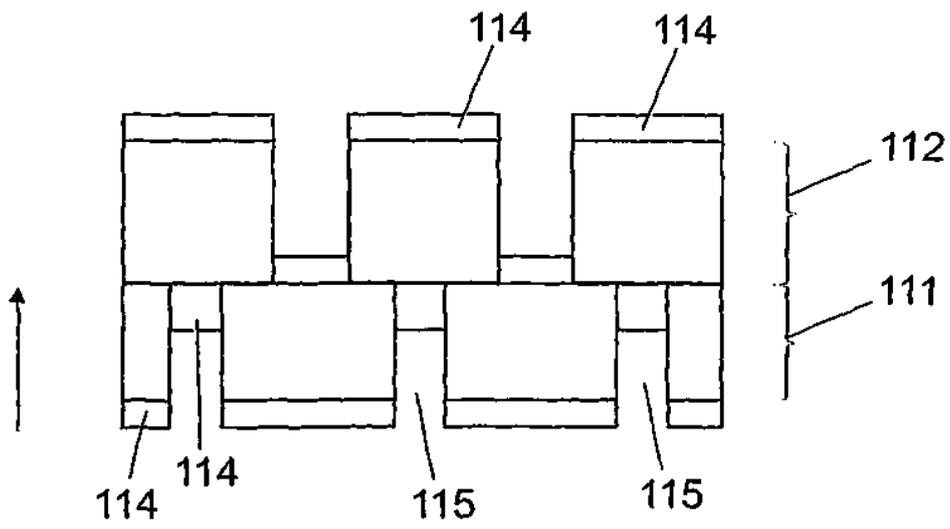


Fig. 3