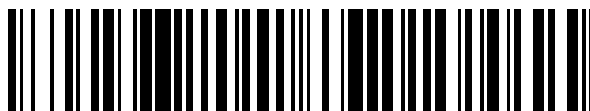


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 339**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0392 (2006.01)

H01L 21/02 (2006.01)

H01L 29/12 (2006.01)

H01L 29/45 (2006.01)

H01L 29/04 (2006.01)

H01L 29/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.09.2008 E 08873139 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 2266135**

54 Título: **Dispositivos electrónicos flexibles, de gran área, basados en semiconductores, sobre sustratos orientados de {110}<100>**

30 Prioridad:

25.03.2008 US 79068

06.03.2008 WO PCT/US2008/002944

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.02.2015

73 Titular/es:

GOYAL, AMIT (100.0%)

**1701 Waterview Trail
Knoxville, TN 37922, US**

72 Inventor/es:

GOYAL, AMIT

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 529 339 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

Dispositivos electrónicos flexibles, de gran área, basados en semiconductores, sobre sustratos orientados de $\{110\}<100>$

Campo de la invención

- 5 La invención se refiere a la fabricación de dispositivos electrónicos de alto rendimiento que comprenden diversos tipos de semiconductores y artículos hechos de los mismos.

Antecedentes de la invención

Los dispositivos electrónicos basados en semiconductores tales como diodos, transistores y circuitos integrados se pueden encontrar en todas partes. Para muchas de estas aplicaciones, si el coste del dispositivo se reduce significativamente, muchas más aplicaciones se pueden prever. Esto es especialmente cierto para la aplicación fotovoltaica o de la energía solar, para toda una gama de sensores, así como para otras áreas de aplicación, tales como los dispositivos ferroeléctricos, diodos emisores de luz para aplicaciones de iluminación de estado sólido, las aplicaciones de almacenamiento tales como unidades de disco duro de ordenador, dispositivos basados en magnetorresistencia, dispositivos basados en fotoluminiscencia, aplicaciones de memoria no volátil, dispositivos dieléctricos, dispositivos termoelectrónicos.

El uso de fuentes de energía renovable es esencial para el futuro del mundo en que vivimos. Hay un potencial ilimitado para que la energía solar satisfaga todas las necesidades energéticas del mundo. Sin embargo, durante las últimas dos décadas, la promesa de la energía solar se ha mantenido sin cumplir. Esto es principalmente debido a la desfavorable métrica de precio / rendimiento de las células solares que se fabrican hoy en día. Otras innovaciones tecnológicas tienen el potencial de hacer que el avance económico y comercial necesario para bajar los precios para hacer la energía solar más barata que, o de coste igual a, los combustibles fósiles.

Las fotovoltaicas de película delgada (PV) tienen una ventaja significativa sobre las células tradicionales basadas en obleas de silicio cristalino. La ventaja primaria de películas delgadas es materiales más baratos y menores costes de fabricación y rendimientos de fabricación más altos en comparación con las tecnologías de un solo cristal. Las películas delgadas utilizan 1/20 a 1/100 del material necesario para PV de Si cristalino y parecen ser susceptibles de producción más automatizada, menos costosa. Actualmente, tres tecnologías de película están recibiendo un gran interés entre la industria de PV a gran escala: Si amorfo, CuInSe_2 y CdTe . En la mayoría de los casos, las eficiencias del módulo están estrechamente relacionadas a las eficiencias de las células, con pérdidas menores ($\sim 10\%$) debido a cierta pérdida de área activa y algunas pérdidas de resistencia eléctrica. Con el fin de aumentar aún más la eficiencia y poder fabricar de forma reproducible células de alta eficiencia a base de película delgada, es necesario controlar características microestructurales que limitan el rendimiento. Aunque una comprensión completa de las características microestructurales que limitan el rendimiento aún no están claras, está razonablemente bien establecido que la recombinación en los límites de grano, defectos en el grano e impurezas es crítica. En un esfuerzo por minimizar el efecto de los límites de grano, las películas con grandes granos o sólo GB de baja energía son un objetivo.

La mayoría de las células solares de película delgada se basan en capas policristalinas de dispositivos, ya que el costo de los sustratos de cristal único es prohibitivamente caro. Debido a que son policristalinos, no tienen una orientación cristalográfica bien definida (tanto fuera de plano como en el plano). La orientación cristalográfica puede tener dos efectos importantes. El primero es el efecto de la orientación de la superficie de crecimiento en la incorporación de dopantes, defectos intrínsecos, y otras impurezas. Estudios previos sobre una amplia variedad de dopantes han demostrado que pueden ocurrir variaciones de 1 a 2 órdenes de magnitud por motivos de orientación cristalográfica. Un efecto extremo de dopaje anisotrópico es el dopaje con Si en las películas de GaAs. El dopaje con Si en películas de GaAs causa conducción de tipo n (111) en GaAs de tipo B, pero de tipo p en (111) GaAs de tipo A. El segundo efecto de la orientación cristalográfica es una variación en la tasa de crecimiento de la película que se deposita. Tanto los experimentos, como las simulaciones han mostrado que bajo ciertas condiciones las tasas de crecimiento pueden variar en 1 a 2 órdenes de magnitud en función de la orientación cristalográfica. La orientación cristalográfica no controlada en los materiales fotovoltaicos con grandes tamaños de grano, por tanto, puede dar lugar a problemas de reproducibilidad y de los rendimientos, por lo tanto más bajos rendimientos durante la producción de alto volumen. Por supuesto, los límites de grano en la intersección de los granos en la película policristalina actúan como centros de recombinación perjudiciales.

La mayor parte de las características microestructurales que actualmente se cree que están limitando el rendimiento de la célula solar policristalina de película delgada pueden ser evitadas por el crecimiento o desarrollo de películas epitaxiales sobre sustratos monocristalinos de celosía o red emparejada o coincidente. Sin embargo, los altos costos de los sustratos de cristal único, prohíben su uso para aplicaciones reales. El efecto de los límites de grano se puede evitar en películas delgadas policristalinas fotovoltaicas si los tamaños de grano son lo suficientemente grandes (el tamaño de grano en el que los efectos sobre las propiedades son mínimos depende, entre otras cosas, del nivel de dopaje). Sin embargo, en películas delgadas, el crecimiento del grano está típicamente limitado a sólo dos veces el espesor de la película. Por lo tanto, los límites de grano en las películas policristalinas tienen un efecto dominante

sobre la eficiencia. Un gran número de estudios han reportado los efectos de los límites de grano en las propiedades fotovoltaicas.

Aunque gran parte de la explicación anterior se ha centrado en la aplicación de células solares, hay numerosas aplicaciones donde se requiere un bajo costo, método prácticamente escalable de fabricar películas de semiconductores similares a cristales individuales en que el tamaño efectivo del cristal único requerido sea de aproximadamente 100 μm o unos pocos cientos de micras de diámetro. Además, para ciertas aplicaciones, las superficies / películas / obleas semiconductoras tienen que ser flexibles, permitiendo así aplicaciones en las que un semiconductor curvado puede ser deseable. Por ejemplo, para una aplicación de células solares puede ser deseable adaptar el módulo fotovoltaico al contorno de un techo en donde se coloca. Transistores de película delgada se utilizan para la fabricación de pantallas. En esta aplicación también se puede apreciar fácilmente el uso de pantallas flexibles y de gran superficie.

Para los dispositivos electrónicos, una serie ordenada de tres nanopuntos dimensionales y nanobarras promete extender la física de dispositivos para confinamiento total de dos o tres dimensiones (alambres y puntos cuánticos). El confinamiento multidimensional en estas estructuras de baja dimensionalidad durante mucho tiempo se ha pronosticado que altera significativamente el transporte y las propiedades ópticas, en comparación con heteroestructuras en masa o planas. Más recientemente, el efecto de cuantificación de carga en el transporte en pequeños puntos cuánticos semiconductores ha estimulado mucho la investigación en dispositivos de un solo electrón, en los que la transferencia de un solo electrón es suficiente para controlar el dispositivo. El factor más importante que impulsa la investigación activa en efecto cuántico es la capacidad de la ingeniería de semiconductores de banda prohibida en rápida expansión proporcionada por epitaxia de modém. Las aplicaciones posibles incluyen transistores de espín y transistores de electrones únicos o individuales. Otras aplicaciones posibles de tres nanopuntos y nanobarras dimensionalmente ordenados incluyen posibles aplicaciones en optoelectrónica y sensores. Por ejemplo, una serie de nanopuntos luminescentes ordenados dentro de una matriz transparente se puede utilizar para los dispositivos que utilizan el efecto de fotoluminiscencia. Otras aplicaciones incluyen las de dispositivos fotovoltaicos de iluminación de estado sólido, de elevada eficiencia, etc.

Otros ejemplos de dispositivos electrónicos formados sobre sustratos adecuados se describen en los documentos US 2003/0015728; EE.UU. 6.512.171; EE.UU. 2006/0033160; EE.UU. 6.872.988; WO 2006/060466; EE.UU. 5.958.599; y EE.UU. 7.087.113. Los documentos de EE.UU. 2008/0176749 y EE.UU. 2008/0176749 son documentos intermedios.

Sumario de la invención

La invención se refiere a la fabricación de dispositivos electrónicos flexibles, de gran superficie, basados en semiconductores, que tienen un alto rendimiento. La invención da lugar a dispositivos semiconductores que son de textura cristalográfica. La invención da lugar a la fabricación de capas de dispositivos semiconductores con textura "uniaxial", textura "biaxial" y textura "triaxial". Los dispositivos también son "flexibles".

"Textura triaxial", tal como se utiliza aquí, se refiere a los tres ejes cristalográficos de todos los granos en un material, estando todos alineados uno con respecto a otro. Las células unidad de todos los materiales se pueden caracterizar por tres ejes de coordenadas, a, b y c. La orientación de un grano individual en una muestra policristalina puede estar definida por los ángulos formados por sus ejes cristalográficos a, b y c con el sistema de coordenadas de la muestra de referencia. "Textura uniaxial" se refiere a la alineación de uno cualquiera de estos ejes en todos los granos que comprenden la muestra policristalina. El "grado de textura uniaxial" se puede determinar utilizando difracción de retrodispersión de electrones o por difracción de rayos X. Típicamente, se encuentra que los granos tienen una distribución normal o una gaussiana de orientaciones con una curva de campana característica. El máximo a media anchura total (FWHM) de esta distribución gaussiana, o de pico, es el "grado de textura uniaxial" y define la "nitidez de la textura". La nitidez de textura también se conoce como el "mosaico". Textura biaxial se refiere a un caso en el que dos de los tres ejes cristalográficos de todos los granos están alineados dentro de un cierto grado o nitidez. Textura triaxial se refiere a un caso en el que los tres ejes cristalográficos de todos los granos están alineados dentro de un cierto grado o nitidez. Por ejemplo, una textura triaxial caracterizada por un FWHM de 10°, implica que la distribución independiente de orientaciones de tres eje cristalográficos, a saber, a, b y c, de todos los granos que comprenden el material, puede ser descrita por una distribución cuyo máximo a media anchura total es de 10°.

"Flexible", tal como se utiliza aquí, se refiere a la capacidad de doblar el dispositivo alrededor de un mandril de 30,48 cm (12 pulgadas) sin degradación de las propiedades electrónicas del dispositivo.

Para lograr los anteriores y otros artículos, y en conformidad con los propósitos de la presente invención, se describe un dispositivo electrónico policristalino como el expuesto en la reivindicación 1.

En una forma de realización preferida de la presente invención, la citada capa semiconductor en el artículo es de un semiconductor compuesto, constituido por elementos procedentes de dos o más diferentes grupos de la Tabla Periódica, incluyendo compuestos del Grupo III (B, Al, Ga, In) y Grupo V (N, P, As, Sb, Bi) para los compuestos AlN, AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs, InP, InAs, InSb, AlInGaP, AlGaAs, InGaN etc, y los compuestos del grupo II (Zn, Cd,

Hg) y Grupo VI (O, S, Se, Te), tales como ZnS, ZnSe, ZnTe, CdTe, HgTe, CdHgTe, etc. Además de los compuestos binarios de los anteriores, también están incluidos compuestos ternarios (tres elementos, por ejemplo, InGaAs) y cuaternarios (cuatro elementos, por ejemplo, InGaAsP).

5 En una forma de realización preferida de la presente invención, la citada capa semiconductora en el artículo comprende un semiconductor elemental o aleaciones de elementos dentro del mismo grupo, tales como carburo de silicio SiC y SiGe o un semiconductor compuesto que comprende elementos de los grupos IB, IIIA y VIA de la tabla periódica, tales como aleaciones de cobre, indio, galio, aluminio, selenio y azufre.

En una forma de realización preferida de la presente invención, el sustrato con textura tiene un tamaño de grano mayor que 100 micras.

10 El artículo de dispositivo semiconductor de acuerdo con esta invención también puede incluir al menos una capa tampón sobre dicho sustrato, seleccionada de un grupo que comprende un metal, una aleación, un nitruro, boruro, óxido, fluoruro, carburo, siliciuro o combinaciones de los mismos.

15 En una forma de realización preferida de la presente invención, la capa tampón dicha tiene una estructura cristalina seleccionada de un grupo que comprende las estructuras de cristal de sal gema de fórmula AN o AO, donde A es un metal y N y O corresponden a nitrógeno y oxígeno; estructuras de cristal de perovskita de fórmula ABO₃, donde A y B son los metales y O es oxígeno; estructuras cristalinas de pirocloro de la fórmula A₂B₂O₇, donde A y B son metales y O es oxígeno y estructuras cristalinas de bixbita de fórmula A₂O₃, donde A es un metal y O es oxígeno.

20 En una forma de realización preferida de la presente invención, la capa tampón dicha tiene una fórmula química seleccionada de un grupo que comprende de un Mezcla de estructuras de cristal de sal gema con la fórmula de A_xB_{1-x}O y A_xB_{1-x}N, donde A y B son diferentes metales; oxinitruros mixtos tales como A_xB_{1-x}N_yO_{1-y}, donde A y B son diferentes metales; estructuras de bixbita mixtos tales como (A_xB_{1-x})₂O₃, donde A y B son diferentes metales; perovskitas mixtas tales como (A_xA'_{1-x})BO₃, (A_xA'_{1-x})(B_yB'_{1-y})O₃, donde A, A', B y B' son diferentes metales y pirocloros mixtos tales como (A_xA'_{1-x})₂B₂O₇, (A_xA'_{1-x})₂(B_yB'_{1-y})₂O₇, en la que A, A', B y B' son diferentes metales.

25 En aún otra forma de realización preferida de la presente invención, la capa tampón puede ser una capa tampón de óxido seleccionado de un grupo que comprende Al₂O₃ gamma (forma cúbica de Al₂O₃); perovskitas tales como, pero no limitadas a, SrTiO₃, (Sr, Nb)TiO₃, BaTiO₃, (Ba, Ca)TiO₃, LaMnO₃, LaAlO₃, perovskitas dopadas tales como (La, Sr)MnO₃, (La, Ca)MnO₃; perovskitas en capas tales como Bi₄Ti₃O₁₂; pirocloros tales como, pero no limitado a, La₂Zr₂O₇, Ca₂Zr₂O₇, Gd₂Zr₂O₇; fluoros tales como Y₂O₃, YSZ; óxidos de sal gema tales como, pero no limitados a, MgO; espinelas tales como, pero no limitado a, MgAl₂O₄.

30 En otra forma de realización preferida, la pila tampón que comprende el dispositivo electrónico se selecciona de entre las configuraciones de la capa tampón seleccionadas de un grupo que comprende una capa de nitruro cúbico, una multicapa de MgO/nitruro cúbico, una multicapa de Y₂O₃/YSZ/nitruro cúbico, una multicapa de Y₂O₃/YSZ/MgO/nitruro cúbico, una capa de óxido cúbico, una multicapa de MgO/óxido cúbico, una multicapa de Y₂O₃/YSZ/óxido cúbico y una multicapa de Y₂O₃/YSZ/MgO/óxido cúbico.

35 En otra forma de realización preferida, la pila tampón que comprende el dispositivo electrónico se selecciona de entre las configuraciones de la capa tampón seleccionadas de un grupo que comprende una capa de TiN, una multicapa de MgO/TiN, una multicapa de Y₂O₃/YSZ/TiN, una multicapa de Y₂O₃/YSZ/MgO/TiN, una capa de óxido cúbico, una multicapa de MgO/γ-Al₂O₃, una capa múltiple de Y₂O₃/YSZ/γ-Al₂O₃ y una capa múltiple de Y₂O₃/YSZ/MgO/γ-Al₂O₃.

40 La capa tampón puede ser una capa tampón de siliciuro o de una aleación intermetálica con germanio correspondiente a una capa con una fórmula química, MSI o MSi₂, MSi₃, MGe o MGe₂, MGe₃, en la que M es un metal, tal como, pero no limitados a, Ni, Cu, Fe, Ir y Co.

La capa tampón también puede ser una capa de carburo que corresponde a la forma cúbica de SiC.

En una forma de realización preferida, al menos la capa tampón superior es eléctricamente conductora.

45 En aún otra realización preferida, la capa tampón puede ser una "capa tampón graduada" que comprenda múltiples capas tampón con diferentes parámetros de celosía para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa semiconductora.

50 En una realización preferida, el dispositivo electrónico comprende además una capa de plantilla semiconductora entre la(s) capa(s) de tampón y la capa de dispositivo semiconductor para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa del dispositivo semiconductor.

La capa de plantilla semiconductora puede ser una capa de "plantilla semiconductora graduada" con múltiples capas de diferentes parámetros de celosía a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa del dispositivo semiconductor.

En una forma de realización preferida, el sustrato que comprende el dispositivo electrónico tiene una textura cristalográfica de tal manera que los otros dos eje cristalográficos de todos los granos en-el-plano del sustrato también se caracterizan por una textura con un FWHM de menos de 10 grados.

- 5 En una realización preferida, al menos una capa tampón que comprende el dispositivo electrónico tiene una textura cristalográfica de tal manera que los otros dos ejes cristalográficos de todos los granos en-el-plano del sustrato también se caracterizan por una textura con un FWHM de menos de 10 grados.

En una realización preferida, la citada capa del dispositivo electrónico que comprende el dispositivo electrónico tiene una textura cristalográfica de tal manera que los otros dos eje cristalográficos de todos los granos en-el-plano del sustrato se caracterizan por una textura con un FWHM de menos de 10 grados.

- 10 En una forma de realización preferida, el sustrato se selecciona de un grupo que comprende Cu, Ni, Al, Mo, Nb y Fe y sus aleaciones de los mismos.

En una realización preferida, el sustrato es una aleación a base de Ni con un contenido de W en el intervalo de de 3-9% en peso.

- 15 En una realización preferida, el sustrato es un sustrato de material compuesto de múltiples capas en el que solamente la capa superior tiene la alineación cristalográfica y que tiene el eje cristalográfico de todos los granos en esta capa alineados dentro de 10 grados en todas las direcciones con respecto a otro.

En una realización preferida, el sustrato es un sustrato de material compuesto de múltiples capas en el que sólo las capas superior e inferior tienen de alineación cristalográfica y que tienen el eje cristalográfico de todos los granos en estas capas alineado dentro de 10 grados en todas las direcciones con respecto a otro.

- 20 En una realización preferida, el dispositivo electrónico es un dispositivo fotovoltaico que comprende al menos una unión pn paralela a la superficie del sustrato.

En aún otra realización preferida, el dispositivo electrónico es un dispositivo fotovoltaico que comprende una célula multiunión con al menos dos y preferiblemente tres uniones pn paralelas a la superficie del sustrato.

- 25 En una realización preferida, la eficiencia de conversión fotovoltaica de dicha capa del dispositivo es mayor que 13% y preferiblemente mejor que 15%.

En una realización preferida, la citada capa del dispositivo electrónico consiste en nanopuntos alineados de otra composición cristalina que la capa del dispositivo, con el diámetro.

En aún otra realización preferida, 80% de los nanopuntos están alineados dentro de 60 grados desde la normal a la capa del dispositivo.

- 30 El dispositivo electrónico de acuerdo con esta invención puede ser utilizado para una aplicación seleccionada de un grupo que consiste en dispositivos fotovoltaicos, pantallas de panel plano, dispositivos termofotovoltaicos, dispositivos ferroeléctricos, dispositivos de diodos emisores de luz, dispositivos de unidad de disco duro de ordenador, dispositivos basados en magnetorresistencia, dispositivos basados en fotoluminiscencia, dispositivos de memoria no volátil, dispositivos dieléctricos, dispositivos termoeléctricos y dispositivos láser de puntos cuánticos.

- 35 En una realización preferida, el dispositivo electrónico tiene un área mayor que 322,58 cm² (50 in²). En aún una realización preferida adicional, el dispositivo electrónico tiene un área mayor que 729 cm² (113 in²).

En una realización preferida, el dispositivo electrónico de acuerdo con esta invención puede comprender al menos un componente de dispositivo seleccionado de un grupo que consiste en dispositivos de dos terminales, tales como un diodo; dispositivos de tres terminales, tales como un transistor, tiristor o rectificador; y dispositivos de multi-terminales, tales como un microprocesador, memoria de acceso aleatorio, memoria de sólo lectura o un dispositivo de acoplamiento de carga.

40 Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más completa de la presente invención y de las características y beneficios de la misma se tendrá después de la revisión de la siguiente descripción detallada junto con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

- 45 La figura 1 muestra una representación esquemática idealizada de la textura de interés en esta invención. Hay mostrados dos tipos de texturas - {110} <100> y una textura {100} <100>. En ambas texturas, la dirección [100] es paralela a la primera dirección de laminación. En un caso, sin embargo, el plano {110} es paralelo a la superficie de la cinta y en el otro el plano {100} es paralelo a la superficie de la cinta.

- 50 La figura 2 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de diversas realizaciones de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención. La figura 2A muestra la estructura más básica, a saber, un sustrato de metal o de aleación flexible con una textura de recristalización de {110} <100> con una capa

- semiconductora epitaxial que comprende una capa única o capas múltiples. La figura 2B, un sustrato de metal o de aleación flexible con una textura de recristalización de $\{110\} \langle 100 \rangle$ con capas tampón epitaxiales individuales o múltiples y con un semiconductor epitaxial que comprende una capa única o capas múltiples. La figura 2C, un sustrato de metal o de aleación flexible con una textura de recristalización de $\{110\} \langle 100 \rangle$ con una o varias capas tampón epitaxiales, una o más capas epitaxiales de plantilla semiconductoras y con un semiconductor epitaxial que comprende una capa única o capas múltiples. La figura 2D, un sustrato de metal o de aleación flexible con una textura de recristalización de $\{110\} \langle 100 \rangle$ con una o varias capas tampón epitaxiales, una o más capas epitaxiales de plantilla semiconductoras, un semiconductor epitaxial que comprende capas únicas o múltiples y una sobrecapa de un capa de contacto o una capa protectora.
- La figura 3 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico que contiene una unión pn epitaxial de acuerdo con la presente invención, siendo la unión pn paralela a la superficie del sustrato. La figura 3 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, cristalográficamente texturizado, de metal o de aleación con unas capas tampón individuales o múltiples, opcionales, epitaxiales, una capa de plantilla semiconductor, epitaxial, opcional, o una capa semiconductor plantilla graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la(s) capa(s) tampón; capas semiconductoras epitaxiales de tipo p y de tipo n en la capa tampón superior o la capa de plantilla semiconductor opcional, una capa conductora transparente y un revestimiento antirreflectante con líneas de rejilla de metal. Un uso de un dispositivo tal, como se muestra en la figura 2, es para la generación de energía solar.
- La figura 4 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de realizaciones de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención. La figura muestra un sustrato flexible, cristalino, de metal o de aleación con una textura de recristalización primaria o secundaria de $\{110\} \langle 100 \rangle$; una o varias capas tampón, teniendo al menos la memoria intermedia superior una textura $\{100\} \langle 100 \rangle$ o una $\{100\} \langle 100 \rangle$ girada 45° ; una capa de plantilla semiconductor epitaxial opcional o una capa semiconductor de plantilla graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la(s) capa(s) tampón y, finalmente, una capa epitaxial de dispositivo semiconductor, simple o múltiple, seleccionada de un grupo que comprende, pero no limitado a, las basadas en banda prohibida indirecta, banda prohibida directa y semiconductores de multibanda prohibida.
- La figura 5 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico que contiene una unión pn epitaxial con textura de acuerdo con la presente invención, siendo la unión pn paralela a la superficie del sustrato. La figura 2 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, de metal o de aleación con una textura de recristalización primaria o secundaria de $\{110\} \langle 100 \rangle$; una o varias capas epitaxiales opcionales tampón; una capa de plantilla semiconductor, epitaxial, opcional, o una capa semiconductor de plantilla graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la(s) capa(s) tampón; capas semiconductoras con textura, epitaxiales, de tipo p y de tipo n sobre la capa tampón superior o la capa de plantilla semiconductor opcional; una capa conductora transparente y un revestimiento antirreflectante con líneas de rejilla de metal. Un uso de un tal dispositivo, como se muestra en la figura 5, es la generación de energía solar.
- La figura 6A muestra un esquema idealizado de un sencillo de un diodo emisor de luz, orgánico, de matriz activa única (AMOLED). La figura 6B muestra una representación esquemática idealizada de una célula de unión múltiple que contiene tres células de acuerdo con la presente invención. En una célula de unión múltiple típica, las células individuales con diferentes bandas prohibidas se apilan una encima de otra. Las células individuales se apilan de tal manera que la luz solar incide primero sobre el material que tiene la banda prohibida más grande. Los fotones no absorbidos en la primera célula se transmiten a la segunda célula, que absorbe entonces la porción de mayor energía de la radiación solar restante sin dejar de ser transparente a los fotones de menor energía. Estos procesos de absorción selectiva continúan a través de la celda final, que tiene la banda prohibida más pequeña. En esencia, un dispositivo de unión múltiple es una pila de células de una sola unión, individuales, en orden de banda prohibida (E_g) descendente. La célula más alta captura los fotones de alta energía y deja pasar el resto de los fotones para que sean absorbidos por las células de inferior banda prohibida.
- La figura 7 muestra la sección transversal de algunas células multiunión que han sido reportadas en la bibliografía. El esquema muestra la porción del espectro solar que captan y las eficiencias de conversión previstas de estas células, que están todas cerca de 40%. La figura 7A muestra una célula de triple unión de GaInP ($E_g = eV$) / GaAs (1,4 eV) / Ge (0,7 eV); La figura 7B muestra una célula de triple unión de GaInP ($E_g = eV$) / GaInAs (1,25 eV) / Ge (0,7 eV); y la Fig. 7C muestra una célula de cuádruple unión de GaInP ($E_g = eV$) / GaAs (1,4 eV) / GaInAs (1,25 eV) / Ge (0,7 eV).
- La figura 8 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico de unión múltiple que contiene dos uniones pn con textura, epitaxiales, de acuerdo con la presente invención, siendo las uniones pn paralelas a la superficie del sustrato basado en el dispositivo mostrado en la figura 5. La figura 8 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, de metal o de aleación, con una textura de recristalización primaria o secundaria de $\{110\} \langle 100 \rangle$; una o varias capas epitaxiales opcionales, tampón; una capa de plantilla semiconductor, epitaxial, opcional, o una capa semiconductor de plantilla graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la(s) capa(s) tampón; una célula

inferior epitaxial con textura que comprende una unión pn; una unión túnel; una célula superior que comprende una unión pn; una capa conductora transparente; un revestimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal. Un uso de dispositivos que se muestran en la figura 8 es para la generación de energía solar.

La figura 9 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico de unión múltiple que contiene tres uniones pn con textura de acuerdo con la presente invención, siendo las uniones pn paralelas a la superficie del sustrato. La figura 9 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, de metal o de aleación, con una textura de recristalización primaria o secundaria de {110} <100>; una o varias capas epitaxiales opcionales tampón; una capa de plantilla semiconductor, epitaxial, opcional, o una capa semiconductor de plantilla, graduada, para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la(s) capa(s) tampón; una célula inferior epitaxial con textura, que comprende una unión pn; una unión túnel; una célula media que comprende una unión pn; una unión túnel; una célula superior que comprende una unión pn; una capa conductora transparente; un revestimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal. Un uso de los dispositivos que se muestran en la figura 9 es para la generación de energía solar.

La figura 10 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico tal como se representa en la figura 1-5 y 8-9, con la pila de capas tampón compuesta de un número de capas tampón delgadas a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa semiconductor desarrollada sobre la plantilla de tampón superior. Esto se conoce como un "enfoque de tampón de composición graduada" para proporcionar una buena coincidencia de celosía al semiconductor para reducir al mínimo la densidad de defectos en la capa semiconductor.

La figura 11 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico tal como se representa en la figura 1-10, con la capa de plantilla semiconductor compuesta de un número de capas delgadas, para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo semiconductor o la primera célula que comprende la unión pn y desarrollada sobre la parte superior de la capa de plantilla semiconductor. Esto se conoce como un "enfoque de semiconductor graduado" para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo semiconductor para minimizar aún más la densidad de defectos en la capa de dispositivo semiconductor.

La figura 12 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico tal como se representa en la figura 1-11, con la pila de capas tampón compuesta de un número de capas tampón delgadas a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de plantilla semiconductor desarrollada sobre la plantilla tampón superior. Además, la capa de plantilla semiconductor se compone de un número de capas delgadas, para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo semiconductor o la primera célula que comprende la unión pn y desarrollada sobre la parte superior de la capa de plantilla semiconductor. Esto se refiere como una combinación del "enfoque tampón graduado" y el "enfoque de semiconductores graduado" para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo semiconductor para reducir al mínimo la densidad de defectos en esta capa.

La figura 13 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de diversas realizaciones de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención. La figura 13A muestra un sustrato flexible, cristalino, de textura {110} <100>, de metal o de aleación; una o más capas tampón epitaxiales y opcionalmente graduadas, de óxido cúbico, nitruro, boruro, fluoruro, siliciuro o germaniuro en la parte superior del sustrato, una capa de plantilla semiconductor epitaxial o una capa de plantilla graduada y una o más capas epitaxiales de dispositivo semiconductor. La figura 13B muestra un sustrato flexible, cristalino con textura {110} <100>,, de metal o de aleación; una o más capas tampón epitaxiales y opcionalmente graduadas de metal o aleación, de óxido cúbico, nitruro, boruro, fluoruro, siliciuro o germaniuro en la parte superior del sustrato, una capa de plantilla semiconductor epitaxial o una capa de plantilla graduada y una o más capas epitaxiales de dispositivo semiconductor.

La figura 14 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico que contiene un dispositivo semiconductor cristalográficamente texturado de acuerdo con la presente invención. El dispositivo comprende un sustrato flexible, de textura {110} <100>, de metal o aleación, basado en Fe, Mo, Nb, Cr o W; una o más capas tampón opcionales, epitaxiales; una o más capas epitaxiales de plantilla, opcionales, semiconductoras o una o más capas de plantilla semiconductoras epitaxiales graduadas; una capa de textura cristalográfica, epitaxial, de Si y / o Ge; una capa de tipo GaAs, epitaxial, cristalográficamente texturada; una capa con textura cristalográfica, epitaxial, de tipo InGaP; una capa conductora transparente, y revestimiento antirreflectante opcional y líneas de rejilla de metal.

La representación constituye la base general de un dispositivo. Uno puede imaginar capas o uniones y/o capas tampón semiconductoras adicionales en esta pila de capas múltiples. Un uso de un dispositivo de este tipo es para la generación de energía solar.

La figura 15 muestra una micrografía de luz polarizada óptica de un sustrato con textura {110} <100>, de Fe-3% de Si. El gran tamaño de grano en el sustrato se puede deducir de la regla adyacente a la micrografía. Se puede inferir un tamaño medio de grano de más de 1 cm con muchos granos que tienen una dimensión en el intervalo de 2,4 cm (1 pulgada).

La figura 16 muestra la textura del sustrato que se muestra en la Fig. 15. La Fig. 16A muestra una figura-polo (200) y la figura 16B muestra una figura-polo (110) correspondiente. Sólo una textura única que corresponde a la textura {110} <100> está presente. Esto implica que el plano {110} es paralelo a la superficie del sustrato y la dirección [100] está alineada también en el plano del sustrato. La textura que se muestra en esta figura es indicativa de un cristal único esencialmente grande, con un mosaico.

La figura 17A muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un sustrato compuesto que contiene una parte inferior cristalográficamente sin textura o no alineada, con una superficie superior que es de textura {110} <100> o alineada, de tal modo que los todos los granos en esta capa están alineados en todas direcciones dentro de 10 grados. La figura 17B muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un sustrato compuesto que contiene un centro cristalográficamente sin textura o no alineado, con una superficie superior e inferior que es de textura {110} <100> o alineada, de tal manera que todos los granos en esta capa están alineados en todas las direcciones dentro de 10 grados.

La figura 18 muestra una imagen, en sección transversal, de microscopía electrónica de transmisión (TEM) de una capa de 0,2 μm de espesor, de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (YBCO), con nanopuntos auto-ensamblados de BZO, desarrollada epitaxialmente sobre un sustrato texturizado biaxialmente con tampones epitaxiales. Columnas de nanopuntos auto-ensamblados de BaZrO_3 (BZO) se pueden ver dentro de la capa de YBCO. Las columnas son perpendiculares a los planos ab de YBCO que están representadas por los márgenes de celosía paralelos en la capa de YBCO, y son paralelos al eje c de YBCO. Las flechas negras en la figura muestran la ubicación de algunas de las columnas de nanopuntos auto-ensamblados de BZO.

La figura 19 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de nanopuntos auto-ensamblados u ordenados dentro de una capa de dispositivo desarrollada epitaxialmente sobre un sustrato. En este caso la ordenación de nanopuntos se produce de tal manera que se forman las columnas verticales de nanopuntos.

La figura 20 muestra una representación esquemática idealizada, en sección transversal, de nanopuntos auto-ensamblados u ordenados dentro de una capa de dispositivo desarrollada epitaxialmente sobre un sustrato. En este caso la ordenación de nanopuntos puede ocurrir de una manera que se forman columnas inclinadas de nanopuntos.

La figura 21 muestra una representación esquemática idealizada de nanopuntos auto-ensamblados u ordenados dentro de una capa de dispositivo desarrollada epitaxialmente sobre un sustrato. En este caso la ordenación de nanopuntos es vertical, sin embargo los nanopuntos tienen una curvatura con respecto a ellos como se muestra.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La invención se refiere a la fabricación de dispositivos electrónicos flexibles, cristalográficamente texturizados, a base de semiconductores, que tienen un alto rendimiento. La invención también permite la fabricación continua de este tipo de dispositivos utilizando la deposición de carrete a carrete.

La figura 1 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de diversas realizaciones de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención. La figura 1A muestra la estructura más básica, a saber, un sustrato de metal o de aleación, flexible, con textura macroscópica, fuera de plano, de [100] o [110] que tiene un máximo a media anchura completa (FWHM) de menos de 10° ; una o varias capas tampón con una textura fuera del plano de [100] o [110] con un FWHM menor de 10° en la parte superior de este sustrato de metal o de aleación; una, capa de plantilla semiconductora epitaxial opcional o una capa semiconductora plantilla graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la capa o capas tampón y, finalmente, una capa epitaxial de dispositivo semiconductor, simple o múltiple, seleccionada de un grupo que comprende, pero no limitado a, los basados en banda prohibida indirecta, banda prohibida directa y semiconductores de multibanda prohibida. La figura 1B comprende una estructura de dispositivo que incluye un sustrato flexible, cristalino, de metal o de aleación, con una textura fuera de plano de [100] o [110] con un FWHM menor de 10° , y que tiene también los otros dos ejes cristalográficos perpendiculares de todos los granos alineados con un FWHM de 10° ; una o varias capas tampón en la parte superior del sustrato con una textura fuera de plano de [100] o [110] con un FWHM de menos de 10° , y que tiene también los otros dos ejes cristalográficos perpendiculares de todos los granos alineados dentro de 10° ; una, capa de plantilla semiconductora, epitaxial, opcional, o una capa semiconductora de plantilla, graduada, en la parte superior de la capa tampón para proporcionar una mejor coincidencia de celosía con la capa de dispositivo; y una capa epitaxial semiconductora del dispositivo - simple o múltiple, seleccionada de un grupo que comprende, pero no limitado a, los basados en banda prohibida indirecta, banda prohibida directa y semiconductores multibanda prohibida.

Un semiconductor de textura [100] o [110] es útil para lograr un alto rendimiento del dispositivo. Plantillas de metal o de aleación uniaxialmente texturizadas se pueden fabricar por técnicas de procesamiento termomecánicas tales como de laminación y recocido, prensado o estampación y recocido, de forja y recocido, de embutición y recocido y de recalcado y recocido. Una combinación de estos pasos de deformación y de recocido también se puede utilizar para fabricar un sustrato de metal o de aleación utilizando experimentación de rutina, que tenga una textura uniaxial fuerte y bien definida fuera de plano y un gran tamaño de grano promedio. Para todas las rutas de procesamiento termomecánico, la textura cristalográfica a la que se refiere la presente invención o la solicitud de patente es la

textura de recocido o recristalización y no la textura de deformación. "Textura de deformación" es la textura cristalográfica que se desarrolla en los metales y aleaciones tras la deformación mecánica y el proceso de deformación da lugar a que los granos se deformen plásticamente. La textura de deformación también puede ser muy definida y biaxial y tiene ciertas orientaciones específicas en materias cúbicas. Los detalles acerca de texturas de deformación típicas en los metales y aleaciones que pueden ser producidos por deformación mecánica se pueden encontrar en los libros de texto - "Estructura de los metales", por Charles Barrett y T. B. Massalski, 3ª edición, Pergamon Press, 1980, páginas 541-566; "La recristalización y fenómenos de recocido relacionados", por FJ Humphreys, M Hatherly, publicado por Elsevier en 2004, páginas 43-54. La recristalización es un proceso mediante el cual los granos deformados son reemplazados por un nuevo conjunto de granos no deformados que nuclean y crecen hasta que los granos originales se han consumido por completo. Una definición detallada de la recristalización se puede obtener de la bibliografía en el sector o en la enciclopedia en línea gratis, la página web de Wikipedia - [http://en.wikipedia.org/wiki/Recrystallization_\(metalurgia\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Recrystallization_(metalurgia)). La textura cristalográfica tras el proceso de recristalización se conoce como textura de recristalización. Los detalles sobre cómo puede ser producida la textura de recocido de recristalización por el procesamiento termomecánico se pueden encontrar en el libro titulado "La recristalización y fenómenos de recocido relacionados", por FJ Humphreys, M Hatherly, publicado por Elsevier en 2004, páginas 327-415; "Estructura de los metales", de Charles Barrett y TB Massalski, 3ª edición, Pergamon Press, 1980, páginas 568-582; Todas las referencias que se indican en el libro también se incluyen como referencias pertinentes. Los detalles de cómo desarrollar la textura uniaxial, textura biaxial y textura de recristalización triaxial se pueden encontrar en el libro. En particular, los detalles de cómo desarrollar unas texturas [100] o [110] de recristalización en cúbico centrado en las caras y metales y aleaciones centrados en el cuerpo se discuten con detalle en el libro. En esta invención, cristalográficamente texturizada, los metales y aleaciones totalmente recristalizados son de interés específico. Esto es porque la superficie de metales y aleaciones como laminados y texturizados no es fácilmente susceptible para crecimiento epitaxial de otros materiales. Por otra parte, las texturas de deformación, en general, no tienen las orientaciones cristalográficas deseadas para la integración con los semiconductores a través de capas tampón adecuadas. Las capa(s) tampón se utiliza(n) para proporcionar una barrera química y una plantilla estructural sobre la que crecer la(s) capa(s) de semiconductor(s). Se necesita una barrera química para evitar la difusión de elementos desde el metal / aleación o sustrato de cerámica de la(s) capa(s) semiconductor(s). Capas tampón pueden ser seleccionadas de un grupo que comprende un metal, una aleación, un nitruro, boruro, óxido, fluoruro, carburo, siliciuro o combinaciones de los mismos. La capa tampón puede ser una capa de nitruro de tampón correspondiente a una composición de MN, en la que N es nitrógeno y M se selecciona de un grupo que comprende Ti, Ce, Y, Zr, Hf, V, Nb, Nd, La y Al y combinaciones de los mismos. La capa tampón puede ser una capa tampón de óxido seleccionado de un grupo que comprende Al_2O_3 -gamma (forma cúbica de Al_2O_3); perovskitas tales como, pero no limitadas a, SrTiO_3 , $(\text{Sr}, \text{Nb})\text{TiO}_3$, BaTiO_3 , $(\text{Ba}, \text{Ca})\text{TiO}_3$, LaMnO_3 , LaAlO_3 , perovskitas dopadas tales como $(\text{La}, \text{Sr})\text{MnO}_3$, $(\text{La}, \text{Ca})\text{MnO}_3$; perovskitas en capas como $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$; pirocloros tales como, pero no limitados a, $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, $\text{Ca}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$; flouritas tales como Y_2O_3 , YSZ; óxidos de sal gema tales como, pero no limitados a, MgO ; espinelas tales como, pero no limitadas a, MgAl_2O_4 . La capa tampón puede también comprender una mezcla de un nitruro y un óxido con una fórmula química MN_xO_y ($1 < x, y > 0$), en la que N es nitrógeno y O es oxígeno, y M se selecciona de un grupo que comprende Ti, Ce, Y, Zr, Hf, V, Nb, Nd, La y Al y combinaciones de los mismos. Se necesita una plantilla estructural compuesta de capas tampón para obtener una buena coincidencia de celosía para la capa semiconductor que se desarrolla a fin de minimizar la densidad de defectos en la capa semiconductor.

En algunos casos, una capa de plantilla semiconductor adicional se utiliza antes de la(s) capa(s) de dispositivo semiconductor. Esta capa de plantilla semiconductor de nuevo se utiliza para proporcionar una mejor adecuación de celosía a la capa del dispositivo semiconductor. Otra función de la capa tampón superior es para proporcionar una superficie estable, lisa y densa para hacer crecer la capa semiconductor encima. Superficies de capa tampón se pueden acondicionar química o térmicamente. En el acondicionamiento químico, una o más especies químicas en forma gaseosa o solución se utilizan para modificar la superficie de la capa tampón. En el acondicionamiento térmico, la capa tampón se calienta a una temperatura elevada a la que la reconstrucción de la superficie se lleva a cabo. El acondicionamiento de la superficie también se puede hacer usando técnicas estándar y bien desarrolladas de ataque químico en plasma y ataque por iones reactivos (véase, por ejemplo, el procesamiento de silicio en las páginas 539-574 de VSLI Era, Vol. 1, eds. S. Wolf y R.N. Tanber, Lattice Press, Sunset Park, CA, 1986).

Dicha capa de textura [100] o [110] del dispositivo semiconductor de la Figura 1 puede ser seleccionada de un grupo que comprende, pero sin limitarse a, los basados en semiconductores de banda prohibida indirecta, tales como Si, Ge, Gap; semiconductores de banda prohibida directa como CdTe, CuInGaSe_2 (CIGS), GaAs, AlGaAs, GaInP y AlInP; semiconductores de múltiples bandas tales como materiales de II-O-VI como $\text{Zn}_{1-y}\text{Mn}_y\text{S}_x\text{Te}_{1-x}$ y semiconductores multibanda de III-N-V, tales como $\text{Ga}_x\text{As}_{1-x-y}\text{P}_y$, y combinaciones de los mismos. Esto incluye agentes de dopado menores de otros materiales en las capas semiconductoras para la obtención de las propiedades requeridas de semiconducción de tipo n o de tipo p. Las definiciones de un semiconductor de "banda múltiple", "directa" "indirecta" se pueden obtener de la bibliografía en el sector o en la enciclopedia gratuita en línea, Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page). Por ejemplo, como se indica en Wikipedia, la definición de semiconductor de banda prohibida directa e indirecta es: "En la física de semiconductores, una banda prohibida directa significa que el mínimo de la banda de conducción se encuentra directamente por encima del máximo de la banda de valencia en el espacio de impulso. En un semiconductor de banda prohibida directa, los electrones en el mínimo de banda de conducción se pueden combinar directamente con hoyos o agujeros en el máximo de la banda

de valencia, mientras que se conserva el impulso. La energía de la recombinación a través de la banda prohibida se emite en forma de un fotón de luz. Esta es la recombinación radiactiva, también llamada emisión espontánea. En los semiconductores de banda prohibida indirecta como el silicio cristalino, el impulso del mínimo de la banda de conducción y el máximo de banda de valencia no son el mismo, por lo que una transición directa a través de la banda prohibida no conserva el impulso y está prohibida. La recombinación tiene lugar con la mediación de un tercer cuerpo, tal como un fonón o un defecto cristalográfico, lo que permite la conservación del impulso. Estas recombinaciones suelen liberar la energía de banda prohibida como fonones, en lugar de fotones, y por lo tanto no se emite luz. Como tal, la emisión de luz de semiconductores indirectos es muy ineficiente y débil. Hay nuevas técnicas para mejorar la emisión de luz por los semiconductores indirectos. Véase la banda prohibida indirecta para obtener una explicación. El principal ejemplo de un semiconductor de banda prohibida directa es el arseniuro de galio - un material de uso común en los diodos láser".

En una forma de realización preferida de la presente invención, la citada capa semiconductor en el artículo es de un semiconductor compuesto, constituido de elementos a partir de dos o más diferentes grupos de la Tabla Periódica, incluyendo compuestos del Grupo III (B, Al, Ga, In) y Grupo V (N, P, As, Sb, Bi) para los compuestos AlN, AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs, InP, InAs, InSb, AlInGaP, AlGaAs, InGaP, etc., y los compuestos del grupo II (Zn, Cd, Hg) y Grupo VI (O, S, Se, Te), tales como ZnS, ZnSe, ZnTe, CdTe, HgTe, CdHgTe, etc. Además de los compuestos binarios de los anteriores, se incluyen también compuestos ternarios, (tres elementos, por ejemplo, InGaAs) y cuaternarios (cuatro elementos, por ejemplo, InGaAsP).

La capa semiconductor en el artículo también puede comprender un semiconductor elemental o aleaciones de elementos dentro del mismo grupo, tales como carburo de silicio, SiC, y SiGe o un semiconductor compuesto que comprenda elementos de los grupos IB, IIIA y VIA de la tabla periódica, tales como aleaciones de cobre, indio, galio, aluminio, selenio y azufre.

La figura 2 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico que contiene una unión pn epitaxial con textura de acuerdo con la presente invención, siendo la unión pn paralela a la superficie del sustrato. La figura 2 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, cristalográficamente texturizado, de metal o de aleación, similar al mostrado en la figura 1; capas tampón cristalográficamente texturizadas, únicas o múltiples, también similares a la mostrada en la figura 1; una capa semiconductor de plantilla, epitaxial, opcional, o una capa semiconductor de plantilla graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa de dispositivo en la parte superior de la(s) capa(s) tampón; capas semiconductoras de tipo p y de tipo n, con textura, epitaxiales sobre la capa tampón superior o la capa de plantilla semiconductor opcional; una capa conductora transparente y un revestimiento antirreflectante con líneas de rejilla de metal. Un semiconductor de tipo p se obtiene mediante la realización de un proceso de dopaje en el que se incorporan en el semiconductor ciertos tipos de átomos con el fin de aumentar el número de portadores de carga (en este caso positiva) libres. Cuando se agrega el material de dopaje, le quita (acepta) electrones externos débilmente unidos de los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como material aceptador y los átomos del semiconductor que han perdido un electrón son conocidos como huecos o agujeros. El propósito del dopado de tipo p es crear una abundancia de agujeros. En el caso de silicio, un átomo trivalente (típicamente del grupo IIIA de la tabla periódica, tal como boro o aluminio) se sustituye en la red cristalina. El resultado es que un electrón no se encuentra en uno de los cuatro enlaces covalentes normales de la red de silicio. Por lo tanto el átomo dopante puede aceptar un electrón del enlace covalente de átomos vecinos para completar el cuarto enlace. Tales agentes de dopado se llaman aceptadores. El átomo de dopante acepta un electrón, causando la pérdida de la mitad de un enlace desde el átomo vecino y que da lugar a la formación de un "agujero". Cada agujero está asociado con un ion dopante en las inmediaciones con carga negativa, y el semiconductor se mantiene eléctricamente neutro en su conjunto. Sin embargo, una vez que cada hoyo se mueve en la red, un protón en el átomo en la ubicación del agujero será "expuesto" y ya no será cancelado por un electrón. Por esta razón un hueco se comporta como una cantidad de carga positiva. Cuando se añade un número suficientemente grande de átomos aceptadores, los agujeros son mucho más numerosos que los electrones excitados térmicamente. Por lo tanto, los agujeros son los portadores mayoritarios, mientras que los electrones son los portadores minoritarios en los materiales de tipo p. Un semiconductor de tipo n se obtiene mediante la realización de un proceso de dopaje, es decir, mediante la adición de una impureza de elementos de valencia-cinco a un semiconductor de valencia cuatro con el fin de aumentar el número de portadores de carga (en este caso negativa) libres. Cuando se agrega el material de dopaje, se ceden (donan) electrones externos débilmente unidos a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como material donante, ya que cede algunos de sus electrones. El propósito del dopaje tipo n es producir una abundancia de electrones móviles o "portadores" en el material. Para ayudar a entender cómo se lleva a cabo el dopaje de tipo n, considérese el caso de silicio (Si). Los átomos de Si tienen cuatro electrones de valencia, cada uno de los cuales está unido covalentemente con uno de los cuatro átomos de Si adyacentes. Si un átomo con cinco electrones de valencia, tal como fósforo (P), arsénico (As), o antimonio (Sb), se incorpora en la red cristalina en lugar de un átomo de Si, entonces ese átomo tendrá cuatro enlaces covalentes y un electrón no unido. Este electrón extra sólo está débilmente unido al átomo y puede ser fácilmente inducido a la banda de conducción. A temperaturas normales, la práctica totalidad de estos electrones son excitados hacia la banda de conducción. Puesto que la excitación de estos electrones no da lugar a la formación de un agujero, el número de electrones en un material de este tipo es muy superior al número de agujeros. En este caso los electrones son los portadores mayoritarios y los huecos son los portadores minoritarios. Debido a que los átomos de cinco electrones tienen un

electrón extra para "donar", se llaman átomos donadores. Por lo tanto, los semiconductores de tipo p y n pueden ser fabricados mediante el dopaje adecuado de elementos. El dispositivo de la figura 2 se refiere a una unión p-n, siendo la unión paralela a la superficie del sustrato. La combinación de capas de tipo p y de tipo n se conoce como una sola célula. Este dispositivo que se muestra en la figura 2 es sólo un ejemplo sencillo de una posible estructura de dispositivo que puede ser fabricado sobre la base de esta invención. Un posible uso de un dispositivo de este tipo es como una célula solar o una célula fotovoltaica para convertir la luz solar en energía eléctrica. El orden en la capa, a saber, tipo p o el tipo n, se puede cambiar. También, en algunos casos puede ser deseable incluir capas de p+ en las que el exceso de concentración de huecos móvil es muy grande. Del mismo modo, se puede depositar una capa n+. Tales capas también pueden ser utilizadas para la fabricación de contactos eléctricos en los dispositivos.

Las estructuras básicas que se muestran en la figura 1 y la figura 2 se pueden utilizar para la fabricación de una amplia gama de dispositivos electrónicos tales como dispositivos fotovoltaicos, pantallas planas, dispositivos termofotovoltaicos, dispositivos ferroeléctricos, dispositivos de diodo emisor de luz, dispositivos de unidad de disco duro de ordenador, dispositivos basados en magnetorresistencia, dispositivos basados en fotoluminiscencia, dispositivos de memoria no volátil, dispositivos dieléctricos, dispositivos termoelectricos y dispositivos de láser de puntos cuánticos. Los dispositivos electrónicos que fácilmente pueden preverse son dispositivos de dos terminales, tales como un diodo; dispositivos de tres terminales, tales como un transistor, tiristor o rectificador; y dispositivos multi-terminales, tales como un microprocesador, una memoria de acceso aleatorio, un dispositivo de acoplamiento por carga o una memoria de sólo lectura.

Algunas de las más interesantes aplicaciones son en células fotovoltaicas o solares y para pantallas tales como transistores de película delgada. En ambas áreas, no se ha dado una tendencia a utilizar películas delgadas sobre sustratos metálicos. Sin embargo, en estos casos, el semiconductor es ya sea amorfo o policristalino y por lo tanto con menor rendimiento que el obtenido a partir de un único dispositivo de cristal del mismo semiconductor. Elementos electrónicos mecánicamente flexibles tienen el potencial para realizar nuevas aplicaciones en las que las restricciones físicas y mecánicas no permiten el uso de sustratos rígidos. Además, con sustratos flexibles, se puede prever la fabricación rollo a rollo de manera similar a una prensa de impresión, con un rendimiento significativamente más alto que la fabricación de un dispositivo semiconductor discreto normal. En algunas de las aplicaciones aludidas más arriba, existen requisitos del dispositivo relativamente relajados en comparación con otros dispositivos semiconductores. La integración de capas semiconductoras únicas de textura triaxial, similares a cristales, y dispositivos sobre sustratos de gran superficie, flexibles, de metal, aleación y cerámicos, pueden revolucionar estas aplicaciones en estas áreas. Dispositivos de un solo cristal sobre sustratos flexibles darán lugar a células fotovoltaicas con elevada eficiencia y transistores de película delgada (TFT) con movilidades de electrones más altas.

Existe un interés significativo en la fabricación de circuitos TFT sobre láminas metálicas o de aleación flexibles. Véase, por ejemplo - Tesis S.D. y Wagner S., "Transistores de silicio amorfo de película delgada sobre sustratos de hoja de acero," IEEE Electron Device Lett, vol. 17, no. 12, pp 578-580, diciembre de 1996; Serikawa T. y Omata F., "TFTs de poli-Si de alta movilidad fabricadas sobre sustratos flexibles de acero inoxidable". IEEE Electron Device Lett., vol. 20, no. 11, pp 574-576, noviembre de 1999; Afentakis T. y Hatalis M., "Circuitos de polisilicio de alto rendimiento sobre láminas metálicas delgadas," Proc. SPIE, vol. 5004, pp 122-126, 2003; Howell RS, Stewart M., Karnik SV, Saha S.K. y Hatalis M.K., IEEE Electron Device Lett., Vol. 21, no. 2, pp 70-72, febrero de 2000. En estos cuatro documentos, el resultado es una capa de silicio amorfo orientado, policristalino. En la mayoría de los casos en los que se utiliza Si policristalino, es una capa de láser cristalizada de Si. Una capa amorfa de Si se deposita primero sobre el sustrato, seguido de una etapa de cristalización. Esta cristalización también se puede hacer usando lámparas de infrarrojos que proporcionan una alta velocidad de calentamiento. Un proceso similar se puede utilizar para fabricar silicio epitaxial sobre los sustratos descritos en esta invención. Este proceso de depositar primero una película precursora de Si amorfo seguido por una etapa de cristalización subsiguiente se conoce como un proceso de "ex situ". El Si cristalino Si también se puede depositar directamente de manera epitaxial sobre un sustrato único similar al cristal a temperaturas elevadas. Los dispositivos de un solo cristal texturizados triaxialmente sobre sustratos flexibles metálicos, de aleación y cerámicos, se traducirá en transistores de película delgada (TFT) con movilidades de electrones más altas que los que se puedan fabricar usando silicio no orientado y por lo tanto realmente tienen el potencial para revolucionar esta aplicación. Pantallas planas avanzadas que incluyen pantallas de matriz activa de cristal líquido (LCD) han utilizado principalmente vidrio grueso como el sustrato que ofrece ventajas de transparencia y estabilidad, pero es muy frágil y pesado. Los sustratos sugeridos aquí serán resistentes y de peso ligero y, debido a la capa de dispositivos que está triaxialmente texturizada o de un solo cristal-como, tendrán un rendimiento muy superior a los que son posibles sobre sustratos de vidrio rígidos. Las aplicaciones de visualización de pantalla plana son enormes e incluyen monitores de, televisores, ordenadores, grandes carteles electrónicos, teléfonos celulares, calculadoras y pantallas de visualización un conjunto completo de productos electrónicos de consumo. Para pantallas portátiles, pantallas de cristal líquido de matriz activa (AMLCDs) y diodo orgánico emisor de luz de matriz activa (AMOLED), que utiliza Si policristalino tratado a baja temperatura sobre vidrio, está siendo ampliamente considerado para aplicaciones a gran escala. Una pantalla de OLED de matriz activa (AMOLED) se compone de píxeles de diodo emisor de luz orgánico (OLED) que han sido depositados o integrados en una serie de transistores de película delgada (TFT) para formar una matriz de píxeles que producen luz tras la activación eléctrica. En contraste con una pantalla OLED de matriz pasiva, donde la electricidad se distribuye fila por fila, el plano posterior de TFT de matriz activa actúa como una matriz de interruptores que

controlan la cantidad de corriente que fluye a través de cada píxel OLED. La serie de TFT controla de forma continua la corriente que fluye a los píxeles, señalando a cada píxel lo brillante que puede iluminar. Típicamente, este flujo de corriente continuo está controlado por al menos dos TFTs en cada píxel, uno para iniciar y detener la carga de un condensador de almacenamiento y el segundo para proporcionar una fuente de tensión en el nivel necesario para crear una corriente constante al píxel. Como resultado, el AMOLED opera en todo momento (es decir, para toda la exploración de cuadros), evitando la necesidad de corrientes muy elevadas requeridas para la operación de matriz pasiva. La tecnología de plano posterior de Polisilicio para la fabricación de la serie de TFT es la elección de tecnología para OLEDs hoy, ya que proporciona movilidads razonables que satisfacen los requisitos actuales del accionamiento de OLED (véase, por ejemplo, Afentakis T., Hatalis M., Voutsas T. y Hartzell J., "TFT AM-OLED de poli-silicio sobre sustratos de metal delgados y flexibles," Proc. SPIE, vol. 5004, pp 187-191, 2003). La tecnología de poli-Si también permite la integración de la circuitería de accionamiento directamente sobre el sustrato. Hay muchos retos clave, sin embargo, a la dirección: la reducción de no uniformidades de voltaje de umbral de poli-Si, y la demostración de rendimientos de fabricación comercialmente viables. Estas cuestiones pueden ser potencialmente tratadas usando los dispositivos de esta invención, en los que la naturaleza triaxialmente texturizada o similar a un solo cristal de la capa del dispositivo semiconductor reducirá faltas de uniformidad y aumenta los rendimientos, aumenta significativamente movilidads y aún así es de peso ligero, porque no se utiliza ningún cristal. La figura 3A muestra un esquema de un dispositivo de AMOLED sencillo. La figura 3A, cuando se combina con las figuras 1 y 2, muestra cómo puede ser fabricado un AMOLED basado en esta invención, en el que el TFT/ Serie de sustratos es fabricado usando esta invención.

Una aplicación importante de los dispositivos descritos en esta invención está en el área de la energía fotovoltaica. Los dispositivos que se muestran esquemáticamente en la figura 2 se pueden utilizar como una célula fotovoltaica o solar. Estos dispositivos serán de gran superficie y flexibles y se pueden colocar en los techos. Células solares flexibles son también útiles para aplicaciones espaciales, ya que grandes series o carretes de módulos fotovoltaicos pueden ser envueltos y luego desarrollados en el espacio.

Una forma de hacer que las células solares sean más eficientes es encontrar un material que capture la energía de una porción más grande del espectro de la luz del sol - desde el infrarrojo a la luz visible a los rayos ultravioleta. Transferencias de energía de los fotones a un material fotovoltaico cuando el material absorbe ondas de luz que contienen la misma cantidad de energía en forma de su banda prohibida. Una banda prohibida es la energía (E_g) requerida para empujar un electrón desde la banda de valencia de un material a la banda de conducción donde los electrones son libres de fluir. La figura 3B muestra un esquema de un dispositivo que contiene tres células fotovoltaicas de diferentes bandas prohibidas. Esta estructura, también llamada una célula en cascada o en tándem, puede lograr una mayor eficiencia de conversión total mediante la captura de una porción más grande del espectro solar. En la célula de unión múltiple típica, las células individuales con diferentes bandas prohibidas se apilan una encima de otra. Las células individuales se apilan de tal manera que la luz solar incide primero en el material que tiene la banda prohibida más grande. Los fotones no absorbidos en la primera célula se transmiten a la segunda célula, que luego absorbe la porción de mayor energía de la radiación solar restante sin dejar de ser transparente a los fotones de menor energía. Estos procesos de absorción selectiva continúan a través de la célula final, que tiene la banda prohibida más pequeña. Tales células multiunión pueden dar lugar a eficiencias muy altas. Las células multiunión principales se pueden obtenerse a partir de la técnica anterior (Martin A. Green, Keith Emery, Klaus Bücher, David L. King, Sanekazu Igari, "Tablas de eficiencia de células solares (versión 11)," Avances en energía fotovoltaica: Investigación y Aplicaciones, Volumen 6, Número 1, páginas 35 - 42, 4 de mayo de 1999; Karam, NH; King, RR; Cavicchi, BT, Krut, DD; Ermer, JH; Haddad, M.; Li Cai; Joslin, D.E.; Takahashi, M. ; Eldredge, J.W.; Nishikawa, W.T.; Lillington, D.R.; Keyes, B.M.; Ahrenkiel, R.K., "Desarrollo y caracterización de células solares de unión doble y triple de alta eficiencia de Ga_{0.5}In_{0.5}P/GaAs/Ge", Electron Devices, IEEE Transactions on, Vol. 46, N° 10, pp. 2116-2125, octubre de 1999; H. Hou, K. Reinhardt, S. Kurtz, J. Gee, A. Allerman, B. Hammons, P. Chang, E. Jones, unión pn de Novel InGaAsN para las células solares de múltiple unión de alta eficiencia, La Segunda Conferencia Mundial sobre Conversión de Energía PV, 1998, pp. desde 3600 hasta 3603; D. Friedman, J. Geisz, S. Kurtz, J. Olson, células solares de 1 eV, de GaInNAs, para dispositivos multiunión de ultra alta eficiencia, La Segunda Conferencia Mundial sobre Conversión de Energía PV, 1998, pp. 3-7; TV Torchynska y G. Polupan, "Células solares de alta eficiencia para aplicaciones espaciales," Superficies y Vacío 17 (3), 21-25, septiembre de 2004; R. McConnell y M. Symko-Davies, "DOE High Performance Concentrator PV Project," Conferencia Internacional sobre Concentradores solares para la generación de electricidad o hidrógeno, 1-5 mayo de 2005, Scottsdale, Arizona, NREL/CD-520-38172).

Se muestra en la figura 4 la sección transversal de algunas células multiunión que han sido reportados en la bibliografía. El esquema muestra la porción del espectro solar que captan y las eficiencias de conversión previstas de estas células, que son todas cerca de 40%. La figura 4A muestra una célula tri-unión de GaInP ($E_g = 1.9$ eV) / GaAs (1,4 eV) / Ge (0,7 eV); La figura 4B muestra una célula de triple unión de GaInP ($E_g = 1.9$ eV) / GaInAs (1,25 eV) / Ge (0,7 eV); y. Fig. 4C muestra una célula de cuatro unión de GaInP ($E_g = 1.9$ eV) / GaAs (1,4 eV) / GaInAs (1,25 eV) / Ge (0,7 eV). Claramente, la ventaja de capturar una porción más alta del espectro de sol es la mayor eficiencia de conversión. La figura 5 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico de unión múltiple que contiene dos uniones pn con textura, epitaxiales, de acuerdo con la presente invención, siendo las uniones pn paralelas a la superficie del sustrato. La figura 5 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, cristalográficamente texturizado, de metal o aleación, similar al descrito en

las Figs. 1 y 2; una o varias capas tampón cristalográficamente texturizadas; una capa semiconductor epitaxial opcional o una capa de plantilla de composición graduada; una célula inferior epitaxial con textura, que comprende una unión pn; una unión túnel; una célula superior que comprende una unión pn; una capa conductora transparente; un revestimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal. Un uso de los dispositivos que se muestran en la figura 5 es la generación de energía solar. La figura 7 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico de unión múltiple que contiene tres uniones pn con textura de acuerdo con la presente invención, siendo las uniones pn paralelas a la superficie del sustrato. La figura 6 muestra un dispositivo que comprende un sustrato flexible, cristalino, cristalográficamente texturizado, de metal o de aleación, similar al descrito en las Figs. 1 y 2; una o varias capas tampón cristalográficamente texturizadas; una capa semiconductor epitaxial opcional o una capa de plantilla de composición graduada; una célula inferior epitaxial con textura que comprende una unión pn; una unión túnel; una célula media comprende una unión pn; una unión túnel; una célula superior que comprende una unión pn; una capa conductora transparente; un revestimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal. Una vez más, un uso de dispositivos que se muestran en la figura 6 es para la generación de energía solar.

El rendimiento de los dispositivos electrónicos es dependiente de la densidad de defectos. Una forma de reducir la densidad de defectos en la capa semiconductor activa es reducir su falta de coincidencia de retícula con la capa de tampón superior. Esto se puede hacer utilizando un enfoque de "capa tampón graduada". La figura 7 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico tal como se representa en las figuras 1-6, con la pila de capas tampón compuesta de un número de capas tampón delgadas con parámetros de red gradualmente diferentes a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa semiconductor desarrollada en la plantilla de tampón superior. Esto se conoce como un "enfoque de tampón graduado" para proporcionar una buena coincidencia de celosía al semiconductor para reducir al mínimo la densidad de defectos en la capa semiconductor. El número de capas de tampones parámetros de red graduados que necesitan ser depositadas depende de la falta de coincidencia de celosías entre el semiconductor y el sustrato.

Se puede obtener también una mejor coincidencia de celosías con la capa semiconductor para habilitar mayor calidad de epitaxia y reducir la densidad de defectos en la capa semiconductor mediante el uso de capas tampón de estructura de sal de roca, capas tampón mixtas o dopadas, capas tampón de perovskita, mixtas o dopadas, capas tampón de pirocloro mixtas o dopadas. Por ejemplo, óxidos de estructura de sal gema mixtos (AO , donde A es un metal), nitruros (AN , donde A es un metal) y oxinitruros (AN_xO_{1-x} , en la que A es un metal), perovskitas mixtas (ABO_3 , donde A y B son metales), pirocloros mixtos ($A_2B_2O_7$, donde A y B son metales) o capas tampón de óxido de estructura de bixbita mixta (A_2O_3 , donde A es un metal) se puede utilizar para adaptar la constante de red a fin de obtener una mejor coincidencia de celosía con la capa semiconductor. Las siguientes capas tampón de óxido y nitruro mixtas son de interés, en particular:

1. Mezcla de óxidos de estructura de sal de roca y nitruros tales como $A_xB_{1-x}O$ y $A_xB_{1-x}N$, donde A y B son diferentes metales. Por ejemplo, $Ba_{0,64}Sr_{0,36}O$, una solución sólida de BaO y SrO , proporciona una excelente coincidencia de celosía al Si.

2. Oxinitruros mixtos tales como $A_xB_{1-x}N_yO_{1-y}$, donde A y B son diferentes metales.

3. Estructuras mixtas de bixbita como $(A_xB_{1-x})_2O_3$, donde A y B son diferentes metales.

4. Perovskitas mixtas ($A_xA'_{1-x}BO_3$, $(A_xA'_{1-x})(B_yB'_{1-y})O_3$, donde A , A' , B y B' son diferentes metales. Por ejemplo, $Ca_{0,95}Sr_{0,05}TiO_3$, una solución sólida de $CaTiO_3$ y $SrTiO_3$, proporciona una excelente coincidencia de celosía al Si.

5. Pirocloros mixtos - $(A_xA'_{1-x})_2B_2O_7$, $(A_xA'_{1-x})_2(B_yB'_{1-y})_2O_7$, en la que A , A' , B y B' son diferentes metales.

En algunos casos, es más deseable usar un enfoque de "plantilla semiconductor graduada" para reducir la densidad de defectos en la capa semiconductor activa que comprende el dispositivo electrónico. La figura 8 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico tal como se representa en las figuras 1-7, con la capa de plantilla semiconductor compuesta de un número de capas delgadas con parámetros de red gradualmente diferentes, a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa del dispositivo semiconductor o la primera célula que comprende la unión pn y desarrollada sobre la parte superior de la capa de plantilla semiconductor. Esto se conoce como un "enfoque de semiconductor graduado" para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa del dispositivo semiconductor para minimizar aún más la densidad de defectos en la capa de dispositivo semiconductor. En el último caso, se puede contemplar una combinación de la "capa de tampón graduada" y el enfoque "plantilla semiconductor graduada". La figura 9 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un dispositivo electrónico tal como se representa en la figura 1-8, con la pila de capas tampón compuesta de un número de capas tampón delgadas a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de plantilla semiconductor desarrollada sobre la plantilla de tampón superior. Además, la capa de plantilla semiconductor se compone de un número de capas delgadas, de manera que se proporciona una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo semiconductor o a la primera célula que comprende la unión pn y desarrollada sobre la parte superior de la capa de plantilla semiconductor. Esto se refiere como una combinación del "enfoque tampón graduado" y el "enfoque de semiconductor graduado" para proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo

semiconductor para reducir al mínimo la densidad de defectos en el esta capa.

Ejemplo 1: Se preparó un sustrato metálico [100], uniaxialmente texturizado, presionando sucesivamente a través de la compresión o la forja para grandes deformaciones totales, un metal o aleación cúbica seguido de recocido de recristalización. Por ejemplo, se utilizó una aleación de NiW con 3-9% de W, comprimida por deformación de 90% en compresión uniaxial seguida de recocido en un horno por encima de la temperatura de recristalización primaria de la aleación. La textura de recrystalliation primaria formada era una textura [100]. Al aumentar la temperatura de recocido a altas temperaturas cercanas a 1.000°C, se formó un tamaño medio de grano mayor que 100 µm. Capas tampón epitaxiales se depositaron sobre el sustrato. Por ejemplo, una capa de TiN epitaxial se depositó mediante deposición de vapor químico (CVD) a temperaturas de deposición en el intervalo de temperaturas de 300-600°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial a temperaturas de deposición en la gama de 300-900°C utilizando un proceso de tipo CVD. Esto dio como resultado la formación de una capa [100] de dispositivo, de Si, uniaxialmente con textura. Alternativamente, cambiando las condiciones de deposición de la capa de Si, se obtuvo una textura cristalográfica [110] en oposición para la textura [100].

Ejemplo 2: Un sustrato metálico [110], uniaxialmente texturizado, se preparó presionando sucesivamente a través de la compresión a grandes deformaciones totales, un metal o aleación cúbica, seguida de recocido de recristalización. Por ejemplo, se utilizó una aleación de NiW con 3-9% de W, comprimido por deformación al 90% en compresión uniaxial seguida de recocido en un horno por encima de la temperatura de recristalización primaria de la aleación. La textura de recrystalliation primaria formada era una textura [110]. Al aumentar la temperatura de recocido a altas temperaturas cercanas a 1.000°C, se formó un tamaño medio de grano mayor que 100 µm. Entonces se depositaron capas tampón epitaxiales sobre el sustrato. Por ejemplo, una capa de TiN epitaxial se depositó mediante deposición de vapor químico (CVD) a temperaturas de deposición en el intervalo de temperatura de 300-600°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial a temperaturas de deposición en la gama de 300-900°C utilizando un proceso de tipo CVD. Esto dio como resultado la formación de una capa [110] del dispositivo, uniaxialmente con textura, de Si. Alternativamente, cambiando las condiciones de deposición de la capa de Si, se obtuvo una textura [100] cristalográfica en oposición a la textura [110].

Ejemplo 3: Se muestra en la Fig. 10 una representación esquemática idealizada en sección transversal de una aleación de NiW flexible cristalográficamente texturizada con una capa semiconductor epitaxial texturizada, de Si, en la parte superior de la misma, con una capa epitaxial tampón intermedia con textura, de TiN. Este dispositivo es compatible con los dispositivos representados en la figura 1A y B. Se preparó un Ni-3% en W, texturizado biaxialmente, con textura [100] mediante laminación sucesiva de una bobina de aleación derivada de metalurgia de polvos de aproximadamente 3 mm (120 milésimas de pulgada) para obtener una lámina de aproximadamente 0,05 mm (2 milésimas de pulgada) o 50 micras de espesor. La textura cristalográfica, según fue laminada, de la lámina o cinta era la textura estándar de tipo Cu de laminación de metales FCC muy deformados. Después de haber sido la cinta desengrasada y seca, se cargó en una cámara de alto vacío (10^{-8} Torr) carrete a carrete, que contenía un horno calentado por inducción de frecuencia de radio. La cinta se impulsó a través de la zona caliente del horno a una velocidad que calentó cada parte a 1.250 °C durante veinte minutos con una presión parcial de gas de sulfuro de hidrógeno de $\sim 3 \times 10^{-7}$ Torr con el fin de formar una superestructura de azufre c (2x2) en la superficie de la cinta. Después del recocido a alta temperatura, la cinta de NiW se texturizó completamente de manera cúbica y tenía una textura intensa correspondiente a la orientación, {100} <100>, y también tenía una reconstrucción de la superficie correspondiente a una superestructura de azufre c(2x2). Ambas capas de TiN y Si se depositaron epitaxialmente en la cinta de NiW. El TiN se creó utilizando un objetivo de TiN prensado en caliente, estequiométrico. Estas películas fueron depositadas a través de la ablación con láser pulsado a 700°C con una energía del láser de alrededor de 2-3 J / cm², con una presión base de 3×10^{-8} Torr durante 15 minutos y a una velocidad de repetición de 10 Hz. La figura 11 muestra una figura de polo típica (111) de rayos X de una muestra de TiN desarrollada epitaxialmente sobre un sustrato triaxialmente texturizado de Ni-3% de W. Sólo cuatro picos cristalográficamente equivalentes se ven, lo que implica una fuerte orientación de {100} <100>. El máximo a media anchura completa (FWHM) de la textura en el plano, medido utilizando el exploración-phi (111) y la textura fuera de plano, medida por el exploración-omega (200) mediante difracción de rayos X están también indicados en la figura. El FWHM de textura en el plano es típicamente alrededor de 6,6° y el FWHM fuera de plano es 3,2° para oscilación a lo largo de la dirección de laminación del sustrato y 6,6° para oscilación alrededor de la dirección de laminación. El "verdadero" FWHM de la exploración-phi después de considerar el ancho de las exploraciones omega es de unos ~5°. Películas de silicio se depositaron a continuación sobre la capa de TiN con un vacío de base de $\sim 10^{-7}$ Torr usando láser excimer pulsado KrF ($\lambda = 248$ nm, $\tau = 25$ ns) con densidad de energía de 5-7 J cm⁻². Inicialmente, durante la deposición de Si, durante los primeros 2 minutos, la tasa de ablación fue de 2 Hz y la temperatura del sustrato estaba en el intervalo de 650-700°C. Con posterioridad a esto, la temperatura para el crecimiento o desarrollo se redujo a la gama de temperatura de 520-550°C y el crecimiento de Si se llevó a cabo durante 15 minutos, a una velocidad de repetición de 10 Hz. La figura 12 muestra una sección transversal de TEM con bajo aumento de una muestra de Ni-3% en peso / TiN / Si. Las tres capas se distinguen claramente en la micrografía. La capa de TiN fue de unos 110 nm de espesor y la película de Si fue de aproximadamente 1 µm de espesor. La figura 13 muestra una micrografía de imagen de orientación creada a partir de la adquisición y de indexación de patrones de difracción Kikuchi de retrodispersión sobre una rejilla hexagonal a una distancia de 0,6 micras. Un sombreado en escala de grises dada en la figura 13A, indica una región interconectada con desorientaciones de menos de 2 grados. Un sombreado en escala de grises dada en la figura 13B indica una región interconectada con desorientaciones de

menos de 3 grados. Claramente, la capa de silicio es representativa de un gran cristal único con un poco de mosaico. Las partículas a modo de montículo que se observan en la imagen están porque la película se desarrolló utilizando la técnica de ablación por láser pulsado en la que se sabe que se forman tales características a modo de partículas. El crecimiento de una película usando deposición química por evaporación por haz de electrones o de vapor químico daría lugar a películas lisas agradables. La figura 13 muestra que películas de Si epitaxiales, con textura triaxial, muy orientadas, pueden depositarse sobre sustratos de NiW / TiN triaxialmente texturizados. La figura 14 muestra una imagen en sección transversal de alta resolución de la interfaz de Si / TiN que muestra el crecimiento epitaxial. La micrografía indica claramente la naturaleza epitaxial de crecimiento, así como la nitidez de la interfaz entre capas de TiN y Si. La figura 15 muestra, en vista en planta de alta resolución, una micrografía electrónica de transmisión de la capa de silicio epitaxial tomada a lo largo de la dirección $\langle 100 \rangle$. El recuadro muestra un patrón de transformada rápida de Fourier (FFT) de la imagen. Es evidente que una película de Si epitaxial se está desarrollando en el NiW tamponado con TiN. La figura 16 muestra un patrón de difracción de área seleccionada del eje $\langle 100 \rangle$ de la zona de una vista en planta de la muestra de microscopía electrónica de transmisión de Si / TiN / NiW, que muestran la alineación epitaxial de puntos de difracción de $\text{Si}\{220\}$, $\text{TiN}\{200\}$ y $\text{Ni}\{200\}$. Los puntos de las tres capas son claramente evidentes y marcados en el patrón de difracción. Hay una rotación de 45° entre el Si y el Ni mientras que TiN en Ni tiene una relación epitaxial de cubo sobre cubo. La figura 17 muestra también un patrón de difracción de área seleccionada del eje $\langle 100 \rangle$ de la zona de una vista en planta de la muestra de microscopía electrónica de transmisión de Si / TiN / NiW, que muestra la alineación epitaxial de puntos de difracción de $\text{Si}\{220\}$, $\text{TiN}\{200\}$ y $\text{Ni}\{200\}$. En este caso la región de donde se obtuvo el patrón de difracción es más grande. Aunque el Si en este caso se depositó usando ablación por láser pulsado, hay una amplia gama de técnicas disponibles para la deposición de Si. Muchas de ellas han sido recientemente revisadas (véase, por ejemplo, Michelle J. McCann, Kylie R. Catchpole, Klaus J. Weber, Andrew W. Blakers, "Una revisión de silicio cristalino de película delgada para aplicaciones de células solares. Parte 1: Sustratos nativos," *Materiales de la energía solar y células solares*, Vol. 68, No. 2, mayo de 2001, páginas 135-171; Kylie R. Catchpole, Michelle J. McCann, Klaus J. Weber y Andrew W. Blakers, "Una revisión de silicio cristalino de película delgada para aplicaciones de células solares. Parte 2: Sustratos extraños," *Materiales de la energía solar y células solares*, Vol. 68, No. 2, mayo de 2001, páginas 173-215). Las técnicas de deposición electrónica de haz de electrones por evaporación, deposición electrónica por haz de iones, deposición de vapor químico, deposición metalorgánica química de vapor y deposición química de vapor por combustión son algunas de las técnicas que se utilizarán para la deposición de las capas tampón y semiconductoras.

También es importante tener en cuenta que, en caso de que hubiera una sola capa tampón o múltiples capas tampón, capas de reacción que no son de textura cristalográfica en la orientación deseable se pueden formar por debajo de la capa tampón superior durante la deposición de las capas posteriores. Estas no afectan a la orientación de la capa de dispositivo, ya que existe una capa de tampón orientada adecuadamente sobre ella. En general, la formación de una capa de reacción policristalina, cristalográficamente sin textura, puede ocurrir en un sistema de múltiples capas, siempre y cuando se forme después de que se complete la deposición de una capa orientada adecuadamente por encima de la capa en cuestión.

Algunos límites gemelos coherentes de primer orden están presentes en la capa de silicio. Por lo tanto, la capa de Si no está completamente libre de defectos. Sin embargo, tales límites gemelos coherentes no son muy perjudiciales y no son electrónicamente activos (Hjemas, P.C, Lohne, O., Wandera, A., Tathgar, H.S., "El efecto de las orientaciones de grano en la eficiencia de las células solares multicristalinas," *Solid State Phenomena*, vol 95-96, pp 217-222, 2004; B. Cunningham, H. Strunk y D.G. Ast, "Límites gemelos de primer y segundo orden en cinta de silicio desarrollada con borde definido," *Appl Phys. Lett.*, 40, pp 237-239, 1982). Aunque no se observaron claramente otros defectos en las películas realizadas, si otros defectos para nuclear, que pueden ser pasivados para convertirse en eléctricamente inactivos o mucho menos perjudiciales electrónicamente. Tales defectos que necesitan pasivación ocurren comúnmente en obleas y cintas de cristal único utilizadas para la fabricación de células solares. Hay numerosa técnica anterior que establece que estos defectos pueden ser pasivados (M. Rinio, M. Kaes, G. Hahn y D. Borchert, "Pasivación con hidrógeno de defectos extendidos en células solares de silicio policristalinas," Presentado en la 21ª European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Alemania, 4-8, 9, 2006; A. Ebong, M. Hilali, A. Rohtagi, D. Meier y D.S. Ruby, "Desgasificación y pasivación en horno de cinta de silicio de banda n para células solares de campo de superficie frontal de alta eficiencia, de pantalla impresa," *Progreso en la energía fotovoltaica: Investigación y Aplicaciones*, 9, pp 327-332, 2001; C.H. Seager, D.J. Sharp y J.K.G. Panitz, "Pasivación de los límites de grano en el silicio," *J. Vac. Sci. & Tech.*, 20, pp. 430-435, 1982; N.H. Nickel, N.M. Johnson y W.B. Jackson, "Pasivación con Hidrógeno de los defectos del límite de grano en las películas delgadas de silicio policristalino," *Appl. Phys. Lett.*, 62, pp. 3285-3287, 1993; A. Ashok, "La investigación en la pasivación de hidrógeno de los defectos e impurezas en silicio", NREL Informe No. NREL/SR-520-36096, mayo de 2004; M. Lipinski, P. Panek, S. Kluska, P. Zieba, A. Szyszka y B. Paszkiewicz, "Pasivación de defectos de células solares de silicio policristalinas mediante recubrimientos de nitruro de silicio," *Materials Science-Poland*, vol. 24, pp. 1003-1007, 2006; V. Yelundur, "La comprensión y la aplicación de la pasivación de hidrógeno de defectos silicio de la cinta para células solares de silicio fabricables de alta eficiencia," Tesis doctoral de Física, Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta, GA, noviembre de 2003).

Aunque todas las clases de textura uniaxial, biaxial o triaxial en un sustrato de metal o de aleación son de interés, son de particular interés en tres tipos de orientaciones cristalográficas. Estas incluyen la orientación $\{100\}$

<100>, la {110} <100> y la {210} <100> En todas ellas, la dirección <100> es paralela al eje largo de la cinta termomecánicamente procesada, laminada y recrystalizada. La {100} <100> es producida por recocido por encima de la temperatura de recrystalización primaria del metal o aleación. Las orientaciones de {110} <100> y {210} <100> son producidas por recocido por encima de la temperatura de recrystalización secundaria del metal o aleación. La orientación de {100} <100> se produce fácilmente en muchos metales cúbicos y aleaciones de caras centradas tales como aleaciones basadas en Ni, Al y Cu. La textura de {110} <100> se produce más fácilmente en metales cúbicos y aleaciones de cuerpo centrado tales aleaciones a base de Fe. La orientación de {210} <100> se produce fácilmente en aleaciones tales como aleaciones de Ni-Fe. El tratamiento termomecánico para fabricar tales sustratos texturizados se puede ampliar para fabricar sustratos largos y anchos de longitudes arbitrarias.

Una fracción muy grande de las obleas de Silicio utilizadas en la industria fotovoltaica en todo el mundo están en la forma de obleas de 20,32 cm (8 pulgadas) que son rechazos de la industria electrónica. Estas obleas que contienen muchos defectos son de otra manera cristalográficamente de cristal único y tienen una superficie de 323,87 cm² (50,2 pulgadas cuadradas). Recientemente, los talleres de fabricación de electrónica de todo el mundo han vuelto a reequiparse para acomodar grandes obleas de silicio de 30,48 cm (12 pulgadas) de diámetro. Es posible para la industria fotovoltaica usar obleas rechazadas que contengan defectos, que sean de 30,48 cm (12 pulgadas) de diámetro, así como con un área de 729 cm² (113 in²). Sin embargo, este es el tamaño máximo posible de las obleas de cristal único disponibles y que se pueden desarrollar en todo el mundo. Esta invención permite fabricar materiales semiconductores flexibles, de gran superficie, de cristal único o similar a cristal único, que sean mayores que 323,87 ó 729 cm². Sustratos de metal y de aleación con textura pueden ser fabricados utilizando el tratamiento termomecánico para producir materiales que tienen una textura de {100} <100>, {110} <100> y {210} <100>. En tales casos, se pueden hacer hojas continuas de sustratos de gran superficie sobre los que se depositen capas epitaxiales que conduzcan a un dispositivo electrónico de textura triaxial. Son posibles sustratos de longitudes superiores a 100 metros y anchos próximos a un metro. También, como se enseñó anteriormente, son posibles varios métodos de producción continua de cristal único o sustratos de un solo grano de metal y / o de aleación.

Además de texturizar a través de la ruta de tratamiento termomecánico, hay otras vías conocidas para la fabricación de sustratos flexibles texturizados, tales como deposición asistida por haz de iones (IBAD), deposición en sustrato inclinado (ISD) y la deposición en la presencia de un campo magnético. Los procesos de IBAD se describen en las patentes de Estados Unidos números 6.632.539, 6.214.772, 5.650.378, 5.872.080, 5.432.151, 6.361.598, 5.872.080, 6.190.752, 6.756.139, 6.884.527, 6.899.928, 6.921.741; procesos ISD se describen en las patentes de EE.UU. Nos. 6.190.752 y 6.265.353; y la textura biaxial por deposición en presencia de un campo magnético se describe en la patente de EE.UU. N° 6.346.181. Post-deposición de bombardeo con iones de películas con textura uniaxial, de metal y / o de aleación sobre un sustrato policristalino no orientado también puede dar como resultado una textura en el plano a través de un proceso de crecimiento de grano selectivo y en el caso extremo la película puede llegar a ser de textura triaxial. En todos estos procesos, se utiliza un sustrato policristalino flexible sin textura o un sustrato amorfo sobre el que se depositan capas tampón. Una de las capas tampón clave es una capa biaxialmente texturizada que se deposita sobre este sustrato usando ya sea deposición IBAD, ISD o deposición en un campo magnético. Una vez que se desarrolla una capa tampón texturizada, a continuación se desarrolla una capa semiconductora epitaxialmente sobre ella. En cada uno de los casos anteriores, se pueden desarrollar dispositivos con áreas mayores a 729 centímetros cuadrados, lo que no es posible a través de crecimiento de cristal único de silicio o cualquier otro semiconductor.

La figura 18 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de diversas realizaciones preferidas adicionales de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención y el Ejemplo 1, Figura 18A, muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal o aleación; una capa tampón de TiN cristalográficamente texturizada en la parte superior del sustrato, y un Si epitaxial de Si u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla.

Ejemplo 4: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, un espesor de 10-75 nm se desarrolló una capa epitaxial de MgO por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación de láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de TiN, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 300-900°C. La figura 18B muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal o de aleación; una capa tampón de textura cristalográfica, de MgO, en la parte superior del sustrato; una capa tampón de TiN, cristalográficamente texturizada en la parte superior de la capa de MgO; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla.

Ejemplo 5: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-% de W, se desarrolló una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de Y₂O₃ por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el rango de 300 a 850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de YSZ, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de TiN, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación láser pulsado o deposición química de vapor

a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 300-900°C. La figura 18C muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal de aleación; una capa tamón cristalográficamente texturizada, de Y_2O_3 en la parte superior del sustrato; una capa tampón de textura cristalográfica, de YSZ, en la parte superior de la capa de Y_2O_3 ; una capa tampón de TiN cristalográficamente texturizada en la parte superior de la capa de YSZ; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla.

Ejemplo 6: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, se desarrolló una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de Y_2O_3 , por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el rango de 300 a 850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de YSZ, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de MgO, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de TiN, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 300-900°C. La figura 18D muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal o aleación; una capa tampón cristalográficamente texturizada, de Y_2O_3 , en la parte superior del sustrato; una capa de textura cristalográfica tampón de YSZ en la parte superior de la Y_2O_3 capa; una capa tampón de textura cristalográfica, de MgO, en la parte superior de la capa de YSZ; una capa tampón de TiN cristalográficamente texturizada en la parte superior de la capa de MgO; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla. En cada uno de los casos mostrados en la figura 20, una capa de nitruro se puede formar en la interfaz de la capa tampón superior y el dispositivo semiconductor o capa de plantilla, tal como una capa de nitruro de silicio o de nitruro de germanio. Esta capa no precisa necesariamente ser de textura o epitaxial.

La figura 19 muestra una representación esquemática idealizada adicional, en sección transversal, de diversas realizaciones de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención. La figura 19A muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal o aleación; al menos una capa tampón de textura cristalográfica, de nitruro cúbico, en la parte superior del sustrato, y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla. La figura 19B muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal o de aleación; una capa tampón de textura cristalográfica, de MgO, en la parte superior del sustrato; al menos una capa tampón de nitruro cúbico, cristalográficamente texturizada, en la parte superior de la capa de MgO; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla. La figura 19C muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, de metal o aleación; y una capa tampón cristalográficamente texturizada, de Y_2O_3 , en la parte superior del sustrato; una capa tampón de textura cristalográfica, de YSZ, en la parte superior de la capa de Y_2O_3 ; al menos una capa tampón de nitruro cúbico, cristalográficamente texturizada, en la parte superior de la capa de YSZ; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla. La figura 19D muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado, flexible de metal o aleación; una capa tampón cristalográficamente texturizada, de Y_2O_3 en la parte superior del sustrato; una capa tampón de textura cristalográfica, de YSZ, en la parte superior de la capa de Y_2O_3 ; una capa tampón de textura cristalográfica, de MgO, en la parte superior de la capa de YSZ; al menos una capa tampón de nitruro cúbico, cristalográficamente texturizada, en la parte superior de la capa de MgO; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla. En cada uno de los casos mostrados en la figura 19, se puede formar una capa de nitruro en la interfaz de la capa tampón superior y el dispositivo semiconductor o capa de plantilla, tal como una capa de nitruro de silicio o de nitruro de germanio. Esta capa no precisa necesariamente ser de textura o epitaxial.

Ejemplo 7: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, de 10-75 nm de espesor, se desarrolló una capa epitaxial de $\gamma-Al_2O_3$ por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química en fase vapor en un sustrato a temperatura en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 300-900°C. Existen numerosos informes en la bibliografía de crecimiento epitaxial de Si en $\gamma-Al_2O_3$ (véase, por ejemplo, Liwen tan, Qiyuan Wang, Jun Wang, Yuanhuan Yu, Zhongli Liu y Lanying Lin, "Fabricación de estructura nueva SOI hetero-epitaxial doble, de Si / $\gamma-Al_2O_3$ / Si", Journal of Crystal Growth, vol 247, pp. 255-260, 2003; K. Sawada, M. Ishida, T. Nakamura y N. Ohtake, "Epitaxia de haz molecular metalorgánica de películas sobre el Si a bajas temperaturas de crecimiento", Appl. Phys. Lett, vol 52, pp. 1672-1674, 1988; M. Shahjahan, Y. Koji, K. Sawada y M. Ishida, "Fabricación de diodo de túnel de resonancia por medio de heteroestructuras múltiples de $\gamma-Al_2O_3/Si$ ", Japan. J. de Appl. Phys., Parte 1, vol. 41 (4B), pp. 2602-2605, 2002). La figura 20 muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de diversas realizaciones de estructuras de múltiples capas de acuerdo con la presente invención y este ejemplo. La figura 20A muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado de metal o aleación; una capa tampón de textura cristalográfica, $\gamma-Al_2O_3$, en la parte superior del sustrato, y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla.

Ejemplo 8: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, de 10-75 nm de espesor MgO o TiN, se depositó epitaxialmente una capa sobre el sustrato de NiW mediante evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-700°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de γ -Al₂O₃, por evaporación de haz de electrones, pulverización catódica, ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 300-900°C. La figura 20B muestra la representación esquemática de acuerdo con esta invención y el ejemplo. La figura 20B muestra un sustrato flexible, cristalino, cristalográficamente texturizado, de metal o aleación; una capa tapón de textura cristalográfica, de MgO, en la parte superior del sustrato; una capa tampón de textura cristalográfica, de γ -Al₂O₃, en la parte superior de la capa de MgO; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla.

Ejemplo 9: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, una de 10-75 nm de grueso se depositó epitaxialmente, de Y₂O₃, sobre el sustrato de NiW mediante evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-700°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de YSZ, por evaporación por haz de electrones, de pulverización catódica, la ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de γ -Al₂O₃, por evaporación por haz de electrones o pulverización catódica o deposición por láser pulsado a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 500-900°C. La figura 20C muestra la representación esquemática de acuerdo con esta invención y el ejemplo. La figura 20C muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado de metal o aleación; una capa tampón cristalográficamente texturizada, de Y₂O₃, en la parte superior del sustrato; una capa tampón de textura cristalográfica, de YSZ, en la parte superior de la capa de Y₂O₃; una capa tampón de textura cristalográfica, γ -Al₂O₃, en la parte superior de la capa de YSZ; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla.

Ejemplo 10: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, se depositó epitaxialmente una capa de 10-75 nm de espesor, de Y₂O₃, sobre el sustrato de NiW, mediante evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación por láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-700°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de espesor 10-75 nm, de YSZ, por evaporación por haz de electrones, de pulverización catódica, la ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de MgO, por evaporación por haz de electrones, pulverización catódica, ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de γ -Al₂O₃, por evaporación de haz de electrones, de pulverización catódica, la ablación láser pulsado o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperatura de 300-900°C. La figura 20D muestra la representación esquemática de acuerdo con esta invención y el ejemplo. La figura 20D muestra un sustrato cristalino flexible, cristalográficamente texturizado de metal o aleación; una capa tampón cristalográficamente texturizada, de Y₂O₃, en la parte superior del sustrato; una capa tampón de textura cristalográfica, de YSZ, en la parte superior de la capa de Y₂O₃; una capa tampón de textura cristalográfica, de MgO, en la parte superior de la capa de YSZ; una capa tampón de textura cristalográfica, γ -Al₂O₃, en la parte superior de la capa de MgO; y un Si epitaxial u otro dispositivo semiconductor o capa de plantilla. La figura 21 muestra una configuración similar a la de la figura 20, con la excepción de que en lugar de la capa tampón de γ -Al₂O₃, cualquier otro óxido cúbico se puede utilizar. Esta capa de óxido cúbico también puede ser una capa de óxido graduada para proporcionar una mejor coincidencia de celosía a la capa semiconductor epitaxial.

Ejemplo 11: Comenzando con el procedimiento experimental de los Ejemplos 1-10, se depositó un Germanio (Ge) o un Si sobre la capa tampón superior o la capa de plantilla semiconductor opcional. Esto es seguido por la deposición de una capa de GaAs epitaxial mediante deposición de vapor químico. Esto es seguido por la deposición de una capa epitaxial de InGaP. Un conductor transparente se depositó a continuación, seguido por la deposición de un recubrimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal. El dispositivo mostrado esquemáticamente en la figura 22 se fabricó ahora. El propósito de fabricar un tal dispositivo de unión múltiple como se ha discutido anteriormente en la figura 4 y 5, y el objetivo es aumentar la eficiencia de conversión fotovoltaica al capturar una mayor porción del espectro solar. El sustrato con las capas tampón y la capa de plantilla de semiconductor texturizada opcional se puede preparar de acuerdo con las enseñanzas de los Ejemplos 1-10. Durante la fabricación del dispositivo que se muestra en este ejemplo, se puede formar una capa de reacción sin textura o con textura en la interfaz de la capa tampón superior para formar un nitrato o un óxido con el semiconductor, tal como una capa de nitrato de silicio o de óxido de silicio.

Ejemplo 12: A partir de un sustrato policristalino flexible de aleación de Ni con una superficie lisa y limpia (las superficies de sustratos se pueden limpiar y hacer más suaves por ataque químico y / o de aplanado, ataque por iones reactivos, pulido mecánico o por electropulido), se depositó una capa cristalográficamente texturizada de MgO por evaporación por haz de electrones mediante deposición en sustrato inclinado (ISD). Capas opcionales amorfas o

policristalinas pueden ser depositadas antes de depositar la capa de MgO a través de la técnica de deposición en sustrato inclinado. Durante la ISD, el sustrato está inclinado en un ángulo de 25°-30° hacia el vapor de MgO durante la deposición. Se utilizan altas tasas de deposición >3 nm/s. La selección de crecimiento sombreando da lugar a sólo granos de MgO con buena alineación en el plano y una inclinación de la superficie de alrededor de 20°. Sobre esta

5 capa de MgO una capa de TiN se depositó mediante pulverización catódica. Esto es seguido por la deposición de una capa de silicio epitaxial. Para más combinaciones de capas buffer, son válidas las enseñanzas de los ejemplos 1-11.

Ejemplo 13: Comenzando con el procedimiento experimental del Ejemplo 10, se deposita una capa de Germanio (Ge) sobre la capa de Si epitaxial. Esto es seguido por la deposición de una capa de GaAs epitaxial mediante deposición de vapor químico. Esto es seguido por la deposición de una capa epitaxial de InGaP. Un conductor transparente se depositó a continuación, seguido por la deposición de un recubrimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal.

10

Ejemplo 14: A partir de un sustrato policristalino flexible de aleación de Ni con una superficie lisa y limpia (las superficies de sustratos se pueden limpiar y hacer más suave por ataque químico y / o de aplanado, ataque por iones reactivos, pulido mecánico o por electropulido), se depositó una capa cristalográficamente texturizada de MgO por evaporación por haz de electrones mediante deposición en sustrato inclinado (ISD). Capas opcionales amorfas o policristalinas pueden ser depositados antes de depositar la capa de MgO a través de la técnica de deposición en sustrato inclinado. Durante la ISD, el sustrato está inclinado en un ángulo de 25°-30° hacia el vapor de MgO durante la deposición. Se usaron altas tasas de deposición >3 nm/s. La selección de crecimiento sombreando dio lugar sólo granos de MgO con buena alineación en el plano y una inclinación de la superficie de alrededor de 20°. Sobre esta

15 capa de MgO se depositó una capa epitaxial de γ -Al₂O₃ de 50 nm de espesor mediante evaporación por haz de electrones a una temperatura de sustrato en el intervalo de 700-850°C. Esto es seguido por la deposición de una capa de silicio epitaxial.

Ejemplo 15: Comenzando con el procedimiento experimental del Ejemplo 14, se depositó una capa de Germanio (Ge) sobre la capa de Si epitaxial. Esto es seguido por la deposición de una capa de GaAs epitaxial mediante deposición de vapor químico. Esto es seguido por la deposición de una capa epitaxial de InGaP. Un conductor transparente se depositó a continuación, seguido por la deposición de un recubrimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal.

25

Ejemplo 16: A partir de un sustrato policristalino flexible de aleación de Ni con una superficie lisa y limpia (las superficies de sustratos se pueden limpiar y hacer más suave mediante ataque químico y / o aplanado por la deposición de capas amorfas, ataque por iones reactivos, pulido mecánico o por electropulido), se depositó una capa de MgO cristalográficamente texturizada por evaporación de haz de electrones o pulverización catódica utilizando haz de iones de deposición asistida (IBAD) usando el proceso enseñado en la patente de EE.UU. 6.190.752. Capas opcionales amorfas o policristalinas pueden ser depositadas antes de depositar la capa de MgO a través de la técnica de IBAD. Una capa de TiN es luego depositada directamente sobre esta capa depositada con ayuda de iones mediante pulverización catódica, evaporación o deposición química de vapor. Esto es seguido por la deposición de una capa de silicio epitaxial.

30 35

Ejemplo 17: Comenzando con el procedimiento experimental del Ejemplo 16, se depositó una capa de Germanio (Ge) sobre la capa de Si epitaxial. Esto es seguido por la deposición de una capa de GaAs epitaxial mediante deposición de vapor químico. Esto es seguido por la deposición de una capa epitaxial de InGaP. Un conductor transparente se depositó a continuación, seguido por la deposición de un recubrimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal.

40

Ejemplo 18: A partir de un sustrato policristalino flexible de aleación de Ni con una superficie lisa y limpia (las superficies de sustratos se pueden limpiar y hacer más suaves por ataque químico y / o aplanado, ataque por iones reactivos, pulido mecánico o por electropulido), se depositó una capa cristalográficamente texturizada de TiN por evaporación de haz de electrones utilizando haz de iones de deposición asistida (IBAD) usando el proceso enseñado en R. Hühne, S. Fähler, B. Holzapfel, "Películas de TiN biaxialmente texturizadas delgadas sobre sustratos amorfos preparados mediante deposición por haz de iones asistido por láser pulsado," Appl. Phys., Lett., Vol. 85, pp. 2744-2746, 2004. A continuación se efectuó la deposición opcional de TiN homoepitaxial sin utilizar el haz de iones asistido. Capas opcionales amorfas o policristalinas pueden ser depositadas antes de depositar la capa de MgO a través de la técnica de IBAD. Esto es seguido por la deposición de una capa de silicio epitaxial.

45 50

Ejemplo 19: Comenzando con el procedimiento experimental del Ejemplo 18, se depositó una capa de Germanio (Ge) sobre la capa de Si epitaxial. Esto es seguido por la deposición de una capa de GaAs epitaxial mediante deposición de vapor químico. Esto es seguido por la deposición de una capa epitaxial de InGaP. Un conductor transparente se depositó a continuación, seguido por la deposición de un recubrimiento antirreflectante y líneas de rejilla de metal.

55

Ejemplo 20: A partir de la enseñanza en el Ejemplo 1, se formó una heteroestructura de NiW / TiN / Si. Una capa de plantilla semiconductor graduada de Si-Ge se depositó entonces sobre la capa de Si. Hay una falta de coincidencia de retículas de 4% entre el silicio y el germanio. Esto ejerce una enorme tensión sobre una película Ge si fue

depositada directamente por deposición epitaxial sobre la capa de Si y puede hacer que aparezcan muchos defectos cristalinos. Por lo tanto, a medida que la capa de Si-Ge crece, el contenido de germanio se aumenta gradualmente a más o menos Ge puro. La capa de Ge ofrece una excelente coincidencia de celosía para el crecimiento de GaAs. El enfoque de plantilla semiconductora graduada también reduce falta de coincidencia de expansión térmica entre la

Ejemplo 21: A partir de la enseñanza del Ejemplo 1, se formó una heteroestructura de NiW / TiN. Una capa de nitruro de composición graduada se depositó a continuación para formar una buena coincidencia de celosías en la capa superior con silicio. Entonces es depositado epitaxialmente Si sobre la "capa tampón graduada". Una capa de plantilla semiconductoresa graduada de Si-Ge se depositó entonces sobre la capa de Si. Hay un discordancia de retículas de 4% entre el silicio y el germanio. Esto ejerce una enorme tensión sobre una película de Ge si ha sido depositada directamente por deposición epitaxial sobre la capa de Si y puede hacer que aparezcan muchos defectos cristalinos. Por lo tanto, a medida que la capa de Si-Ge crece, el contenido de germanio se aumenta gradualmente a más o menos Ge puro. La capa de Ge ofrece una excelente coincidencia de celosía para el crecimiento de GaAs. El enfoque de plantilla semiconductora graduada también reduce discordancia de expansión térmica entre la capa de plantilla semiconductora superior y la capa de dispositivo semiconductor.

Ejemplo 22: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, se depositó una capa de 10-75 nm de espesor, de Y_2O_3 , epitaxialmente sobre el sustrato de NiW usando evaporación por haz de electrones, bombardeo iónico o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-700°C. Esto es seguido por deposición de una capa epitaxial de 10-75 nm de espesor, de SiC cúbico o β -SiC usando deposición química de vapor siguiendo el procedimiento de Jin-Hyo Boo, S.A. Ustin y W. Ho, "Epitaxia de chorro supersónico de películas delgadas de SiC cúbico SiC de cristal único sobre sustratos de Si de t-butildimetilsilano", Thin Solid Films, vol. 324, pp. 124-128, 1998. Esto es seguido por la deposición de una capa de Si epitaxial usando deposición química de vapor en el intervalo de temperaturas de 300-900°C.

Aunque las capas de GaAs se pueden integrar con área grande, sustratos flexibles como se describe anteriormente, de GaAs, también se pueden desarrollar directamente sobre los óxidos de perovskita, tales como $SrTiO_3$ (véase, por ejemplo, K. Eisenbeiser, R. Emrick, R. Droopad, Z. Yu, J. Finder, S. Rockwell, J. Holmes, C. Overgaard y W. Ooms, "MESFET de GaAs fabricados sobre sustratos de Si utilizando una capa tampón de $SrTiO_3$ ", IEEE Electron Device Letters, vol. 23, N° 6, pp. 300-302, 2002; Droopad R, Yu ZY, Li H, Liang Y, Overgaard C, Demkov A, Zhang XD, Moore K, Eisenbeiser K, Hu M, Curless J, Finder J, "Desarrollo de estructuras hetero integradas sobre silicio por MBE, "Journal of Crystal Growth, vol. 251 (1-4), pp. 638-644, 2003). En este trabajo se reporta un sustrato compatible para el crecimiento epitaxial de semiconductores compuestos, tales como GaAs. Capas tampón de tipo perovskita como $SrTiO_3$ se desarrollan primero epitaxialmente sobre una oblea de cristal único de Si. Después del crecimiento, una capa amorfa delgada de SiO_2 de unos 20 angstroms de espesor se formó entre la capa de $SrTiO_3$ y el sustrato de Si. Esta capa amorfa delgada actúa como una membrana elástica desacoplada mecánicamente del sustrato de Si. Si la capa de $SrTiO_3$ también se mantiene delgada en aproximadamente 50 Angstroms, la discordancia final entre la capa de GaAs y Si es mucho menor que 4% si GaAs se desarrolla directamente sobre el Si. Esto, por supuesto da como resultado una capa de GaAs de mayor calidad con menos defectos.

Ejemplo 23: A partir de un sustrato texturizado biaxialmente, de Ni-3% de W, se depositó epitaxialmente una capa de 10-75 nm de espesor, de Y_2O_3 , sobre el sustrato de NiW usando evaporación por haz de electrones, bombardeo iónico o deposición química de vapor a una temperatura de sustrato en el intervalo de 300-700°C. Esto fue seguido por la deposición epitaxial de una capa de espesor 100 nm de $SrTiO_3$ sobre la capa de Y_2O_3 utilizando pulverización catódica de rf a una temperatura de deposición sustrato de 300-700°C. Una capa de GaAs se depositó entonces heteroepitaxialmente sobre la capa de $SrTiO_3$ usando epitaxia de haces moleculares (MBE) usando el procedimiento descrito en K. Eisenbeiser, R. Emrick, R. Droopad, Z. Yu, J. Finder, S. Rockwell, J. Holmes, C. Overgaard y W. Ooms, "MESFETs de GaAs fabricados sobre Sustratos de Si Utilizando una capa tampón de $SrTiO_3$ ", IEEE Electron Device Letters, vol. 23, N° 6, pp. 300-302, 2002 y en Droopad R, Yu ZY, Li H, Liang Y, Overgaard C, Demkov A, Zhang XD, Moore K, Eisenbeiser K, Hu M, Curless J, Finder J, "Desarrollo de heteroestructuras integradas sobre silicio por MBE," Journal of Crystal Growth, vol. 251 (1-4), pp. 638-644, 2003.

Ejemplo 24: A partir de un sustrato policristalino flexible, de aleación de Ni con una superficie lisa y limpia (las superficies de sustratos se pueden limpiar y hacer más suave por ataque químico y/o de aplanado, ataque por iones reactivos, pulido mecánico o por electropulido), se depositó una capa de SiO_2 de 50 nm de espesor mediante pulverización catódica con magnetron a temperatura ambiente. Una película delgada de oro con textura uniaxial se depositó entonces en condiciones de alto vacío. Antes de la deposición de la película de oro, la superficie de la capa de SiO_2 se limpió con un bombardeo de 1 keV de iones Ar^+ durante 1 min, lo que dio lugar a una fuerte textura de fibra (111) en la película de oro. La película delgada de oro se irradió luego con 1,0-3,5 MeV de iones N^+ , Ne^+ y Ar^+ con la dirección del haz de iones en un ángulo de 35,24 con respecto a la normal de la superficie. Una fluencia de iones de 10^{17} iones/cm² y corrientes objetivo se utilizaron en el intervalo de 10-100 nA, dependiendo de las especies de iones. La temperatura durante la irradiación se mantuvo en la del nitrógeno líquido. Después de este procedimiento, la película de oro exhibió textura en todas las direcciones. El procedimiento utilizado para la fabricación de películas de oro como cristal único se describe con más detalle en trabajos previos (Olliges S, Gruber P, Bardill A, Ehrler D, Carstanjen HD y Spolenak R, "Conversión policristales en cristales únicos – desarrollo selectivo del grano mediante bombardeo de iones de elevada energía", Acta Materialia, vol. 54, pp. 5393-5399). Tras

esta película de oro, se depositó después una capa de TiN epitaxialmente por pulverización catódica reactiva seguida de la deposición epitaxial de una capa de Si mediante CVD. Esto dio lugar a una capa semiconductor cristalográficamente texturizada sobre un sustrato policristalino.

Otro sustrato adecuado sobre el cual multicapas, incluyendo capas tampón y la(s) capa(s) del dispositivo semiconductor, pueden ser depositadas epitaxialmente para dar lugar a un alto rendimiento en un sustrato que está uniaxialmente texturizado, pero tiene un gran tamaño de grano promedio. Por ejemplo, es bien sabido que, simplemente a través de la compresión uniaxial, se puede obtener una textura uniaxial muy clara en una gama de metales y aleaciones. La textura uniaxial es tal que el eje perpendicular al sustrato está alineado para todos los granos. Si el tamaño medio de grano se incrementa ahora por el recocido y / o el crecimiento anormal del grano, el tamaño medio de grano puede resultar muy grande y superior a 100 micras de diámetro. Mientras el tamaño de grano sea más grande que la longitud de recombinación del semiconductor, la capa semiconductor no se ve afectada esencialmente por los límites de grano propagados desde el sustrato hacia la capa semiconductor. Un fuerte textura uniaxial con un tamaño de grano grande también puede ser impartida en una capa tampón cuando el propio sustrato no está orientado y es policristalino o amorfo. Esto se puede hacer por el crecimiento anormal de grano (por ejemplo, se hace referencia al estado de la técnica – J.M.E. Harper, J. Gupta, D.A. Smith, J.W. Chang, K.L. Holloway, D.P. Tracey y D.B. Knorr, "Cambio de textura cristalográfica durante el crecimiento anormal del grano en películas delgadas de Cu-Co", Appl. Phys. Lett., Vol. 65, pp. 177-179, 1994) o el crecimiento del grano a través de bombardeo de iones (por ejemplo, haciendo referencia a la técnica anterior - T. Ohmi, T. Saito, M. Otsuki, T. Shibuta y T. Nitta, "Formación de películas delgadas de cobre por un proceso de partícula de energía cinética baja," J. de Electrochemical Soc., vol. 138, pp. 1089-1097, 1991). En todos estos casos, el dispositivo tiene efectivamente una textura triaxial "local" con un tamaño de grano grande. Esta textura biaxial local en una longitud de escala más grande que la longitud de recombinación del semiconductor que se utiliza para fabricar la capa de dispositivo policristalina, se traducirá en una célula fotovoltaica de eficiencia similar a la que es esencialmente de cristal único, ya que los límites de grano no afectarán al rendimiento.

La deposición de capas semiconductoras se puede hacer usando una serie de técnicas. Muchas de ellas han sido recientemente revisadas (véase, por ejemplo, Michelle J. McCann, Kylie R. Catchpole, Klaus J. Weber, Andrew W. Blakers, "Una revisión de silicio cristalino de película delgada para aplicaciones de células solares. Parte 1: Sustratos nativos", *Materiales de la energía solar y células solares*, Vol. 68, No. 2, mayo de 2001, páginas 135-171; Kylie R. Catchpole, Michelle J. McCann, Klaus J. Weber y Andrew W. Blakers, "Una revisión de película delgada de silicio cristalino para aplicaciones de células solares. Parte 2: Sustratos Extraños", *Materiales de la energía solar y células solares*, Vol. 68, No. 2, mayo de 2001, páginas 173-215. Además, hay también interés en cualquier técnica de deposición a baja temperatura, ya que esta reducirá aún más la interdifusión de elementos desde el sustrato de metal / aleación a la capa de dispositivo semiconductor. Muchas técnicas de deposición de baja temperatura para Si se han explorado (véase, por ejemplo, Lars Oberbeck, Jan Schmidt, Thomas A. Wagner y Ralf B. Bergman, "Deposición de alta velocidad de capas epitaxiales para células solares eficientes de silicio epitaxial de película delgada, de baja temperatura", *El progreso en la energía fotovoltaica: Investigación y Aplicaciones*, vol 9, pp. 333-340, 2001; J. Carabe y J.J. Gandia. Thin-"Células solares de silicio de película delgada", *OPTO-Electronics Review*, vol 12, pp. 1-6, 2004; S Summers, HS Reehal y GH Shirkoohi, "Los efectos de parámetros del plasma variables sobre el crecimiento de silicio de película delgada por CVD de plasma de ECR", *J. Phys. D: Appl. Phys.* Vol. 34, pp. 2782 - 2791, 2001, Thomas A. Wagner, tesis doctoral de física, "Epitaxia de silicio de baja temperatura: Defectos y propiedades electrónicas," Institut für Physikalische Elektronik der Universität in Stuttgart, 2003; Hattangady, SSV., Posthill, J.B., Fountain, G.G., Rudder R.A., Mantini y M.J., Markunas, R.J., "Deposición epitaxial de silicio a 300 ° C con tratamiento de plasma remoto utilizando mezclas de SiH₄ / H₂", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 59(3), pp. 339-341, 1991; Wagner, TA, Oberbeck, L., y Bergmann, R.B., "Películas de silicio epitaxial de baja temperatura depositadas por deposición de iones asistida," *Materials Science & Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology*, vol. 89, pp. 1-3, 2002; Oberbeck, L. Schmidt, J., Wagner, T.A., y Bergmann R.B., "Deposición de alta velocidad de capas epitaxiales para células solares eficientes de baja temperatura, de silicio de película delgada epitaxial", *Progress Photovoltaics*, vol. 9(5), pp. 333-340, 2001; Thiesen, J., Iwaniczko, E. Jones, K.M., Mahan, A., y Crandall, R., "Crecimiento de silicio epitaxial a bajas temperaturas mediante deposición de vapor químico de hilo caliente," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 75(7), pp. 992-994, 1999; Ohmi, T., Hashimoto, K., Morita, M., Shibata, T., "Estudio sobre reducir aún más la temperatura de silicio epitaxial hasta 250°C en pulverización catódica oblicua de baja temperatura", *Journal of Appl. Phys.*, Vol. 69 (4), pp. 2062-2071, 1991).

Con respecto a la de deposición química al vapor de (CVD), son de interés procesos para la deposición de la capa semiconductor, CVD de hilo caliente (Qi Wang, Charles W. Teplin, Paul Stradins, Bobby To, Kim M. Jones y Howard M. Branz, "Mejora significativa de silicio de vapor químico de epitaxia de deposición por encima de la temperatura de deshidrogenación de superficie", *J. of Appl. Phys.*, 100, 093520, 2006 y Charles W. Teplin, Qi Wang, Eugene Iwaniczko, Kim M. Jones, Mowafak Al-Jassim, Robert C. Reedy, Howard M. Branz, "Homoepitaxi de silicio de baja temperatura mediante deposición química en fase vapor de un filamento caliente con un filamento de Ta, " *Journal of Crystal Growth* 287 (2006) 414-418), CVD asistida por plasma ("Desarrollo Epitaxial, a Muy Baja temperatura, de Películas de Silicio para células solares", *Jap. J. Appl. de Phys.* 46, 12, 7612-7618, 2007), CVD de plasma de ECR, CVD de mesoplasma (José Mario A. Díaz, Munetaka Sawayanagi, Makoto Kambara y Toyonobu Yoshida, "Propiedades Eléctricas de Películas Gruesas de Silicio Epitaxial Depositadas a Velocidades Elevadas y Bajas Temperaturas por Deposición de Vapor Químico en Mesoplasma" *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.

46, Nº 8A, 2007, pp. 5315-5317) y CVD con plasma de chorro de (R.G. Sharafutdinov, V.M. Karsten, S. Ya. Khmel, AG.. Cherkov, AK Gutakovskii, L.D. Pokrovsky y O.I. Semenova, "Películas de silicio epitaxial depositadas a velocidades elevadas mediante CVD en plasma de haz de electrones de chorro de gas", Surface and Coatings Technology, Volúmenes 174-175, septiembre-octubre de 2003, páginas 1178-1181), CVD de plasma excitado con haz de electrones (Yagi, Y., Motegi, H., Ofishita, Y., Kojima, N., Yamaguchi, M., "Crecimiento de alta velocidad de películas delgadas de silicio por EBEP-CVD utilizando Si₂H₆", Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Actas de tercera Conferencia Mundial en Volumen 2, Número, 12-16 de mayo de 2003 Páginas: 1667-1670 Vol. 2).

Capas semiconductoras también pueden ser depositados utilizando un proceso de ex-situ. En este proceso, una película precursora de la capa semiconductor es depositada primero, seguida de cristalización epitaxial de la capa semiconductor (véase, por ejemplo, la Solicitud de Patente Internacional Nº WO 2004/033769 A1, titulada "Procedimiento de fabricación de semiconductor cristalino en sustratos extraños"; Ngo Duong Sinh, Gudrun Andrä, Fritz Falk, Ekkehart Ose, Joachim Bergmann, "Optimización de Cristalización en Capas con Laser para Células Solares de Silicio Cristalino de Película Delgada", Solar Energy Materials & Solar Cells 74 (2002), 295-303; Nickel, N.H.; Brendel, K.; Saleh, R., "Cristalización con láser de silicio amorfo hidrogenado," Physica status solidi. C. Conferencias y reseñas críticas, vol 1, no5, pp. 1154-1168, 2004; J.B. Boyce, J.P. Lu., J. Ho, R.A. Street, K. van Schuylenbergh y Y. Wang, "Cristalización de láser pulsado de silicio amorfo para imágenes en panel plano de polisilicio", Revista de sólidos no cristalinos, vol. 299-302, pp. 731-735, 2002; Lulli, G.; Merli, P.G.; Antisari, M. Vittori, "Epitaxia en fase sólida de silicio amorfo inducida por irradiación de electrones a temperatura ambiente," Physical Review B (Condensed Matter), Volumen 36, Número 15, 15 de noviembre, 1987, pp. 8038-8042; Mohadjeri, B. ; Linnros, J. ; Svensson, B.G; Östling, M., "Recrecimiento epitaxial mejorado en níquel, en fase sólida, de silicio amorfo," Physical Review Letters, Volumen 68, Número 12, 23 de Marzo de 1992, pp. 1872-1875; Yann Civale, Lis K. Nanver, Peter Hadley, Egbert J.G. Goudena, y Hugo Schellevis, "Epitaxia en fase sólida por debajo de 500° C de Contactos y Diodos Elevados de Silicio Ultra-abruptos p+-", IEEE Electron Device Letters, vol. 27, 2006; Cline H.E., "Una película delgada de silicio de cristal único formada por recristalización secundaria," Journal of Appl. Phys., Vol. 55 (12), pp. 4.392 hasta 4.397, 1984; Santos, P.V.; Trampert, A.; Dondeo, F.; Comedi, D.; Zhu, H.J.; Ploog, K.H.; Zanatta, A.R.; Chambouleyron, I. "Cristalización epitaxial por láser pulsado de germanio amorfo sobre GaAs," Journal of Applied Physics, vol. 90, pp. 2575-2581, 2001; T. Sameshima, H. Watakabe, H. Kanno, T. y M. Sadoh Miyao, "Cristalización por láser pulsado de películas de silicio-germanio", Thin Solid Films Vol.. 487, pp. 67-71, 2005; RD Ott, P. Kadorkar, C.A. Blue, A.C. Cole, y G.B. Thompson, "El Tratamiento Térmico de Impulsos de Películas Delgadas de Silicio Nanocristalinos", JOM, vol. 56, pp. 45-47, octubre, 2004).

Las células solares basadas en películas delgadas policristalinas de Cu(In, Ga)Se₂(CIGS) son también de gran interés y un récord de eficiencia del 19,2% se ha demostrado a escala de laboratorio. La escala ascendente de este proceso en sustratos flexibles continúa en la industria, sin embargo, las eficiencias obtenidas en series de producción son mucho más bajas. Incluso las células solares de alta eficiencia hechas usando las películas delgadas de CIGS son policristalinas con un tamaño medio de grano de aproximadamente 2 µm. Hasta ahora no mucho está completamente establecido sobre el efecto exacto o la influencia de los límites de grano en las células solares de CIGS. Se ha propuesto que el oxígeno puede ser pasivante de los límites de grano de otro modo perjudiciales (véase, por ejemplo, D. Cahen y R. Noufi, "Explicación química de defectos para el efecto de recocido aire sobre el rendimiento de células solares de CdS / CuInSe₂", Appl. Phys. Lett., vol. 54, pp. 558-560, 1989). También se ha sugerido que la difusión de sodio (Na) hacia los límites de grano cataliza esta oxigenación beneficiosa (véase, por ejemplo, L. Kronik, D. Cahen, y H.W. Schock, "Efectos de sodio sobre Cu(In, Ga)Se₂ policristalino y su rendimiento de células solares", Advanced Materials, vol. 10, pp. 31 - 36, 1999). También se ha demostrado que la recombinación de portadores de carga en los límites de grano es diferente de la de la mayor parte (véase, por ejemplo, MJ Romero, K. Ramanathan, M.A. Contreras, M.M. Al-Jassim, R. Noufi, y P. Sheldon, "Catodoluminiscencia de películas delgadas de Cu(In, Ga)Se₂ utilizadas en las células solares de alta eficiencia", Appl. Phys. Lett., vol. 83, pp. desde 4.770 hasta 4.772, 2.003). Se ha sugerido que la pasivación intrínseca se produce en los límites de grano debido a una brecha más ancha en los límites de grano (véase, por ejemplo, Persson C, Zunger A., "La física anómala de límites de grano en CuInSe₂ policristalino : la existencia de una barrera de agujeros", Phys.. Rev. Lett.. Vol. 91, pp. 266.401 a 266.406, 2003). Se ha sugerido que el potencial beneficioso local incorporado en los límites de grano depende del contenido de Ga (véase, por ejemplo, C.-S. Jiang, R. Noufi, K. Ramanathan, J.A. AbuShama, H.R. Moutinho, y M.M. Al -Jassim, "potencial local incorporado en límite de grano de películas delgadas de Cu(In, Ga)Se₂", Documento de Conferencia, NREL/CP-520-36981, 2005). Se ha informado de que hay una reducción en el contenido de Cu en los límites de grano y que esto conduce al menor efecto perjudicial de los límites de grano (véase, por ejemplo, M.J. Hetzer, Y.M. Strzhemechny, M., Gao, M.A. Contreras, A. Zunger, y L.J. Brillson, "La observación directa del agotamiento de cobre y los posibles cambios en los límites de grano de diselenuro de cobre indio galio", Appl. Phys. Lett. vol. 86, pp. desde 162.105 hasta 162.107, 2005). También se ha sugerido que la textura cristalográfica es también importante para las células solares basadas en CIGS de eficiencia más altas (véase, por ejemplo, S. Chaisitsak, A. Yamada y M. Konagai, "Control de orientación preferida de películas delgadas de Cu(In_{1-x}Ga_x)Se₂ (x = 0,28) y su influencia sobre características de las células solares", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 41, pp. 507-513, 2002). Tomados en conjunto, estos estudios anteriores sugieren que aunque los límites de grano pueden no ser muy perjudiciales, en general, en las células solares basadas en CIGS, es importante que la composición del límite de grano sea con el fin de controlar su actividad electrónica. Esto requiere un control muy bueno de la estructura de límite de grano, lo que no es posible en las películas de CIGS texturizadas uniaxialmente de manera aleatoria o débil. Si la orientación de todos los granos de CIGS se controlaran mediante la fabricación de

células cristalográficamente texturizadas, y luego en ciclo tras ciclo, la composición de los límites de grano de película de CIGS será la misma. Esto permitirá la fabricación de células basadas en CIGS de gran superficie con eficiencias muy altas en entornos industriales, lo que no es posible en la actualidad.

La figura 23 muestra las variaciones en el sustrato de metal o aleación que se puede utilizar con esta invención. La figura 23A muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un sustrato compuesto que contiene una parte inferior cristalográficamente sin textura o no alineada con una superficie superior que está cristalográficamente texturizada o alineada de tal modo que los todos los granos en esta capa están alineados en todos las direcciones dentro de 10 grados. La figura 23B muestra una representación esquemática idealizada en sección transversal de un sustrato compuesto que contiene un centro cristalográficamente sin textura o no alineado con una superficie superior e inferior que está cristalográficamente texturizada o alineada de tal modo que todos los granos en esta capa están alineados en todas las direcciones dentro de 10 grados .

Otras aplicaciones de la electrónica flexible o circuitos relacionados con esta invención son como conectores en diversas aplicaciones en las que la flexibilidad, ahorro de espacio, o restricciones de producción limitan la capacidad de servicio de las placas de circuitos rígidas o cableado a mano. Otra aplicación común de circuitos flexibles es en la fabricación de teclado de la ordenadores; la mayoría de los teclados fabricados hoy en día utilizan circuitos flexibles para la matriz de conmutadores.

La fabricación de una capa o película del dispositivo de una manera epitaxial sobre un sustrato se realiza comúnmente en la industria electrónica para muchas aplicaciones tales como las que implican los superconductores, semiconductores, materiales magnéticos y materiales electro-ópticos. En muchas de estas aplicaciones, el rendimiento de la capa del dispositivo se puede mejorar de manera significativa o mejorar por medio de la incorporación de una serie ordenada de nanopuntos, nanovarillas o nanopartículas de material segunda fase. En otros casos, la incorporación de una serie ordenada de nanopuntos, nanobarras o nanopartículas de material de segunda fase, puede dar lugar a nuevas propiedades no posibles de otra manera. Además, en muchas de estas aplicaciones, se requieren capas del dispositivos de gran área y largas. Esto se puede lograr por crecimiento epitaxial de capas del dispositivo que contengan una serie ordenada de nanopuntos, nanovarillas o nanopartículas de material segunda fase sobre sustratos texturizados biaxialmente. Por ejemplo, en el campo de los superconductores de alta temperatura, se pueden usar cintas metálicas para formar capas epitaxiales superconductoras que tengan largas (km) longitudes, para aplicaciones tales como para líneas de energía eléctrica de baja pérdida, por crecimiento epitaxial sobre sustratos fabricados artificialmente, texturizados biaxialmente. Sustratos fabricados artificialmente, cristalográficamente texturizados, se pueden fabricar utilizando texturizado termomecánico, mediante deposición asistida por haz de iones o deposición en sustrato inclinado.

En una forma de realización preferida de la invención, nanopuntos auto-ensamblados de un material de segunda fase se incorporan durante el crecimiento de la capa de dispositivo. Esto se puede hacer usando muchas técnicas de deposición in situ, en las que la deposición de la película se realiza a temperaturas elevadas. Las técnicas de deposición de película in-situ incluyen la ablación por láser pulsado (PLD), la deposición química de vapor (CVD), la deposición de vapor químico molecular (MOCVD), pulverización catódica por corriente continua (CC) o de radiofrecuencia (RF), evaporación térmica conjunta con , haces de electrones y deposición por electrones impulsados (PED).

Los nanopuntos y/o nanobarras de forma de material de segunda fase, auto-ensamblados, debidos a tensión de desajuste entre la segunda fase y la película de matriz. Cuando el parámetro de red de la creciente película epitaxial es diferente del parámetro del segundo material de fase, ocurre una discordancia de retículas que da lugar a tensiones de desajuste. Nanopuntos y / o nanobarras se auto-ensamblan a sí mismos para minimizar la tensión y por lo tanto la energía de la película compuesta. Condiciones de deposición específicas utilizadas durante el crecimiento de película, así como la fracción de la composición o el volumen de la segunda fase incorporada, controlan el tamaño, la forma y la orientación de los nanopuntos y / o nanobarras. Se prefiere tener una discordancia de retículas entre la matriz de la película y el material que comprende los nanopuntos y / o nanobarras que sea mayor que 3%. En este desajuste reticular y más allá, resultan tensiones significativas en la ordenación bien definida de nanopuntos y nanobarras.

Por otra parte, la capacidad de incorporar tales nanopuntos y / o nanobarras auto-ensambladas de material de segunda fase dentro de una capa de dispositivo durante la realización de una sola o simultánea deposición es otro beneficio importante de esta invención. Esto reduce significativamente la complejidad de la fabricación de tales capas del nuevo dispositivo. La realización específica de esta invención se demostró para una película de superconducción de alta temperatura de la composición de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (YBCO) en la que nanopuntos y nanobarras de segunda fase de composición BaZrO_3 (BZO) se incorporaron durante la deposición simultánea utilizando PLD a partir de un solo objetivo que contiene una mezcla de YBCO y nanopulvo de BZO.

Ejemplo 23: Nanopuntos y nanovarillas auto-ensamblados de fases no superconductoras se incorporaron mediante la realización de la ablación con láser de un solo objetivo que comprende una mezcla de polvo de YBCO y nanopartículas de la fase no-superconductora elegida. Las nanopartículas de materiales tales como BZO, CaZrO_3 (CZO), YSZ, $\text{Ba}_{x-1}\text{TiO}_3$ (BST), etc. están disponibles comercialmente de proveedores tales como Sigma-Aldrich. Estas nanopartículas, con una distribución clara de tamaños de partículas que van desde 10 hasta 100 nm, fueron

bien mezcladas con el polvo de YBCO, a través de mezclado mecánico, y a continuación se prensaron para formar un objetivo verde. A continuación, el objetivo fue sinterizado a 950°C en una corriente de oxígeno. El objetivo se montó entonces en el soporte del objetivo en la deposición por láser pulsado (PLD) configuración experimental. Las deposiciones se realizaron sobre los sustratos técnicamente importantes, biaxialmente texturizados, asistidas por laminación, sustratos (RABiTS), con la configuración de Ni-5% de W (50 μm)/Y₂O₃ (75 nm)/YSZ (75 nm)/CeO₂ (75 nm). Depositiones PLD se realizaron utilizando un láser excimer de XeCl (308 nm), LPX 305 a una tasa de repetición de 10 Hz, temperatura de deposición del sustrato de 790°C y una presión parcial de oxígeno de 120 mTorr.

El objetivo de PLD se preparó mezclando mecánicamente polvo de tamaño de micras de YBCO preformado con nanopulvos de BZO comercial, seguido por prensado en frío y sinterizado para formar un objetivo. Se desarrollaron películas sobre un sustrato texturizado biaxialmente como cristal único fabricado por tratamiento termomecánico y de la composición de Ni-3% de W o de Ni-5% de W. Antes del crecimiento de la capa de dispositivo compuesto, se depositaron multi-capas epitaxiales de capas tampón de Y₂O₃, zirconia estabilizada con itria (YSZ) y de CeO₂ sobre el sustrato de aleación metálica. Los sustratos se montaron sobre un bloque calentador y el conjunto se calentó a una temperatura de deposición predeterminada. La temperatura óptima de crecimiento de la película se determinó por experimentación de rutina. La distancia óptima entre el objetivo utilizado para PLD y el sustrato sobre el que se depositó la película también se determinó también a través de la experimentación de rutina. La presión del gas básico utilizado durante la deposición con el fin de estar en un régimen en el que tanto el YBCO como el BZO son estables, también se determinó por experimentación de rutina. La figura 24 muestra una imagen en sección transversal, de microscopía electrónica de transmisión (TEM) de una capa de 0,2 μm de espesor, de YBa₂Cu₃O_x (YBCO), con nanopuntos auto-ensamblados de BZO, desarrollada epitaxialmente sobre un sustrato texturizado biaxialmente con tampones epitaxiales. Columnas de nanopuntos auto-ensamblados de BaZrO₃ (BZO) se pueden ver dentro de la capa de YBCO. Las columnas son perpendiculares a los planos ab de YBCO que están representados por las franjas de celosía paralelas en la capa de YBCO, y son paralelos al eje c de YBCO. Las flechas negras de la figura muestran la ubicación de algunas de las columnas de nanopuntos auto-ensamblado de BZO. La Figura 25 muestra esquemáticamente una sección transversal de esta estructura deseada de una manera más general. Se muestra en la figura es una película de dispositivo epitaxial sobre un sustrato con textura cristalográfica que contiene nanopuntos auto-ensamblados de un material de segunda fase. En este caso, todas las columnas de nanopuntos autoensamblados están bien alineados en una dirección perpendicular al sustrato. La Figura 26 muestra el esquema de una película de dispositivo epitaxial sobre un sustrato cristalográficamente texturizado que contiene nanopuntos auto-ensamblados de un material de segunda fase en el que las columnas de nanopuntos autoensamblados son bien inclinadas con respecto a la dirección perpendicular al sustrato. La Figura 27 muestra el esquema de una película de dispositivo epitaxial sobre un sustrato cristalográficamente texturizado que contiene nanopuntos auto-ensamblados de un material de segunda fase en el que los nanopuntos autoensamblados no son planos sino curvados. También puede ocurrir la combinación de los efectos mostrados en la Figura 25, 26 y 27 durante el crecimiento de la película.

Como la presente invención da como resultado dispositivos similares a cristal único o cristalográficamente texturizados o, su rendimiento es excelente. Sin embargo, la presente invención también se traduce en dispositivos más baratos. Por ejemplo, en una reducción típica de costos de producción de módulos de células solares de silicio cristalino, el corte del sustrato de Si, el procesamiento de células y de montaje del módulo representa el 70% del costo total del módulo. El uso de la presente invención para fabricar células solares, no requiere el corte y el montaje del módulo. El montaje del módulo, que implica el montaje de un número de obleas de Si procesadas en un módulo, por sí solo representa 35% del coste total del módulo de célula solar. En la presente invención, se pueden fabricar células solares texturizadas de muy gran superficie, utilizando procesos continuos o estáticos. El dispositivo puede entonces ser modelado de forma apropiada para delinear varias células en el módulo de gran superficie.

El dispositivo electrónico de acuerdo con esta invención puede ser utilizado para una aplicación seleccionada de un grupo que comprende dispositivos fotovoltaicos, pantallas de panel plano, dispositivos termofotovoltaicos, dispositivos ferroeléctricos, dispositivos de diodos emisores de luz, dispositivos de ordenador, unidad de disco duro, dispositivos basados en magnetorresistencia, dispositivos basados en fotoluminiscencia, dispositivos de memoria no volátil, dispositivos dieléctricos, dispositivos termoeléctricos y dispositivos láser de puntos cuánticos. En una realización preferida, el dispositivo electrónico tiene un área mayor que 322,58 cm² (50 in²). En aún una realización preferida adicional, el dispositivo electrónico tiene un área mayor que 729 cm² (113 in²). Los dispositivos electrónicos de acuerdo con esta invención pueden comprender al menos un componente de dispositivo seleccionado de un grupo que comprende dispositivos de dos terminales, tales como un diodo; dispositivos de tres terminales, tales como un transistor, tiristor o rectificador; y dispositivos multi-terminales, tales como un microprocesador, memoria de acceso aleatorio, memoria de sólo lectura o un dispositivo de acoplamiento de carga.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo electrónico policristalino, que comprende;

a. un sustrato flexible, de metal o de aleación, recocido, con una textura de recristalización primaria o secundaria correspondiente a $\{110\} \langle 100 \rangle$, con un mosaico o nitidez de textura de menos de 10 grados, que tiene un tamaño medio de grano más grande que 1 mm;

b. al menos una capa epitaxial de un material semiconductor policristalino en la parte superior de una capa tampón, seleccionado de un grupo que comprende semiconductores de banda prohibida indirecta, tales como Si, Ge, GaP; semiconductores de banda prohibida directa tales como CdTe, CuInGaSe₂ (CIGS), GaAs, AlGaAs, GaInP y AlInP; semiconductores de multibanda tales como materiales de II-O-VI como Zn_{1-y}Mn_yO_xTe_{1-x} y semiconductores de multibanda de III-N-V, tales como GaN_xAs_{1-x-y}P_y, y combinaciones de los mismos, incluyendo opcionalmente agentes de dopado menores de otros materiales en las capas semiconductoras para la obtención de las propiedades requeridas de semiconducción de n-tipo o de tipo p;

teniendo dicha capa semiconductor policristalina una sola textura $\{110\} \langle 100 \rangle$ o una textura $\{110\} \langle 100 \rangle$ girada con un ángulo de rotación de menos de 90°.

2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la citada capa semiconductor es un semiconductor compuesto, constituido por elementos de dos o más grupos diferentes de la Tabla Periódica, incluyendo compuestos del Grupo III (B, Al, Ga, In) y Grupo V (N, P, As, Sb, Bi), tales como AlN, AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs, InP, InAs, InSb, AlInGaP, AlGaAs, InGaAs, y los compuestos del grupo II (Zn, Cd, Hg) y el Grupo VI (O, S, Se, Te), tales como ZnS, ZnSe, ZnTe, CdTe, HgTe, CdHgTe, opcionalmente en el que dicho semiconductor compuesto se compone de elementos de dos, tres, por ejemplo, InGaAs, o cuatro, por ejemplo, de InGaAsP, diferentes grupos de la Tabla.

3. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la citada capa semiconductor corresponde a un semiconductor elemental o aleaciones de elementos dentro del mismo grupo tales, como carburo de silicio (SiC) y SiGe o un semiconductor compuesto que comprende elementos de los grupos IB, IIIA y VIA de la tabla periódica, tales como aleaciones de cobre, indio, galio, aluminio, selenio y azufre.

4. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato tiene un tamaño medio de grano mayor que 10 mm.

5. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato tiene una textura $\{110\} \langle 100 \rangle$ girada, con un ángulo de rotación de menos de 45°.

6. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la textura fuera del plano de dicho sustrato se caracteriza por un mosaico o FWHM de menos de 5°.

7. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende además al menos una capa tampón sobre dicho sustrato seleccionada de un grupo que comprende un metal, una aleación, un nitruro, boruro, óxido, fluoruro, carburo, siliciuro, aleación intermetálica con germanio o combinaciones de los mismos.

8. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que al menos una capa tampón epitaxial tiene una textura cristalográfica correspondiente a textura $\{110\} \langle 100 \rangle$ o una textura $\{110\} \langle 100 \rangle$ girada y con un mosaico o nitidez de textura de menos de 10 grados.

9. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que dicha capa tampón tiene una estructura cristalina seleccionada de un grupo que comprende estructuras de cristal de sal gema de fórmula AN o AO, donde A es un metal y N y O corresponden a nitrógeno y oxígeno; estructuras de cristal de perovskita de fórmula ABO₃, donde A y B son los metales y O es oxígeno; estructuras cristalinas de pirocloro de la perovskita A₂B₂O₇, donde A y B son metales y O es oxígeno, y estructuras cristalinas de Bixbita de fórmula A₂O₃, donde A es un metal y O es oxígeno.

10. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que dicha capa tampón tiene una fórmula química seleccionada de un grupo que comprende estructuras de cristal de sal gema mezcladas con la fórmula de A_xB_{1-x}O y A_xB_{1-x}N, donde A y B son diferentes metales; oxinitruros mixtos tales como A_xB_{1-x}N_yO_{1-y}, donde A y B son diferentes metales; estructuras bixbita mixtas tales como (A_xB_{1-x})₂O₃, donde A y B son diferentes metales; perovskitas mixtas tales como (A_xA'_{1-x})BO₃, (A_xA'_{1-x})(B_yB'_{1-y})O₃, donde A, A', B y B' son diferentes metales, y pirocloros mixtos tales como (A_xA'_{1-x})₂B₂O₇, (A_xA'_{1-x})₂(B_yB'_{1-y})₂O₇, en la que A, A', B y B' son diferentes metales.

11. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que dicha capa tampón de óxido se selecciona de un grupo que comprende de γ -Al₂O₃ (forma cúbica de Al₂O₃); perovskitas tales como, pero no limitadas a, SrTiO₃, (Sr, Nb)TiO₃, BaTiO₃, (Ba, Ca)TiO₃, LaMnO₃, LaAlO₃, perovskitas dopadas tales como (La, Sr)MnO₃, (La, Ca)MnO₃; perovskitas en capas como Bi₄Ti₃O₁₂; pirocloros tales como, pero no limitado a, La₂Zr₂O₇, Ca₂Zr₂O₇, Gd₂Zr₂O₇; fluoritas tales como Y₂O₃, YSZ; óxidos de sal gema tales como, pero no limitados a, MgO; espinelas tales como, pero no limitadas a, MgAl₂O₄.

12. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que la citada capa tampón de siliciuro o de una aleación intermetálica con germanio corresponde a una capa con una fórmula química, MSI o MSi₂, MSi₃, Mge o MGe₂, MGe₃, en la que M

es un metal tal como, pero no limitado a, Ni, Cu, Fe, Ir y Co.

13. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que dicha capa tampón de carburo corresponde a la forma cúbica de SiC.
- 5 14. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que dicha capa tampón de metal o aleación es una capa epitaxial y se selecciona de un grupo que comprende Mo, Cr, Nb, W, V, Ta, Ir y sus aleaciones.
15. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que dicha capa tampón de metal o aleación tiene una estructura cristalina correspondiente a cúbica centrada en el cuerpo (BCC).
- 10 16. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que la capa tampón dicha es una capa tampón de composición graduada que comprende múltiples capas tampón con parámetros de red variables para proporcionar una buena coincidencia de celosía a una capa de dispositivo semiconductor o una capa de plantilla de semiconductora en la parte superior de dicho sustrato.
- 15 17. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que al menos una capa tampón es eléctricamente conductora.
18. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende además una capa de plantilla semiconductora en la parte superior de dicho sustrato o capa tampón opcional para proporcionar una buena coincidencia de celosía a una capa de dispositivo semiconductor en la parte superior de dicho sustrato.
19. El dispositivo de la reivindicación 18, en el que la capa de plantilla semiconductora es una capa de plantilla semiconductora de composición graduada con múltiples capas de parámetros de red variables a fin de proporcionar una buena coincidencia de celosía a la capa de dispositivo semiconductor.
- 20 20. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato se selecciona de un grupo que comprende Fe, Mo, Cr, W, Nb y aleaciones de los mismos.
21. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato comprende una aleación de hierro-silicio.
22. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato comprende aleación de Fe-3% de Si.
23. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato tiene una estructura cristalina correspondiente cúbica centrada en el cuerpo (BCC).
- 25 24. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la citada capa tampón forma una pila tampón que es seleccionada de configuraciones de capas tampón que comprenden una capa de nitruro cúbico, una multicapa de MgO/nitruro cúbico, una multicapa de Y_2O_3 /YSZ/nitruro cúbico, una multicapa de Y_2O_3 /YSZ/MgO/nitruro cúbico, una capa de óxido cúbico, una multicapa de MgO/óxido cúbico, una multicapa de Y_2O_3 /YSZ/óxido cúbico y una multicapa de Y_2O_3 /YSZ/MgO/óxido cúbico.
- 30 25. El dispositivo de la reivindicación 24, en el que dicha capa de nitruro cúbico es TiN.
26. El dispositivo de la reivindicación 24, en el que la capa de óxido cúbico dicho es $\gamma-Al_2O_3$.
27. El dispositivo de la reivindicación 7, en el que la al menos una capa tampón es policristalina y cristalográficamente no alineada y es el resultado de una reacción entre dos capas adyacentes en la pila del dispositivo.
- 35 28. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato de metal o de aleación es un sustrato compuesto de múltiples capas, teniendo la capa o superficie superior una textura cristalográfica correspondiente a $\{110\} <100>$ con un mosaico de menos de 10° .
29. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho sustrato de metal o de aleación es un sustrato compuesto de múltiples capas, teniendo las capas superior e inferior una textura cristalográfica correspondiente a $\{110\} <100>$ con un mosaico de menos de 10° .
- 40 30. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho dispositivo electrónico se selecciona de un grupo que consta de dispositivos fotovoltaicos, pantallas de panel plano, dispositivos termofotovoltaicos, dispositivos ferroeléctricos, dispositivos de diodo emisor de luz, dispositivos de equipo de unidad de disco duro, dispositivos basados en magnetorresistencia, dispositivos basados en fotoluminiscencia, dispositivos de memoria no volátil, dispositivos dieléctricos, dispositivos termoeléctricos y dispositivos de láser de puntos cuánticos.
- 45 31. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho dispositivo electrónico comprende al menos un dispositivo seleccionado de un grupo que comprende dispositivos de dos terminales, tales como un diodo; dispositivos de tres terminales, tales como un transistor, tiristor o rectificador; y dispositivos multi-terminales, tales como un microprocesador, memoria de acceso aleatorio, memoria de sólo lectura o un dispositivo acoplado por carga.
- 50 32. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho dispositivo electrónico constituye un componente de una

pantalla de panel plano de cristal líquido de matriz activa (AMLCD) o una pantalla de panel plano diodo emisor de luz orgánico de matriz activa (AMOLED).

33. El dispositivo de la reivindicación 16, en el que dicha capa de dispositivo es un dispositivo fotovoltaico que comprende al menos una unión pn paralela a la superficie del sustrato.

5 34. El dispositivo de la reivindicación 33, en el que el dispositivo fotovoltaico comprende una célula multiunión con al menos dos y preferiblemente tres uniones pn paralelas a la superficie del sustrato.

35. El dispositivo de la reivindicación 33, en el que la eficiencia de conversión de dicho dispositivo es mayor que 13%.

10 36. El dispositivo de la reivindicación 33, en el que la eficiencia de conversión de dicho dispositivo es mayor que 15%.

37. El dispositivo de la reivindicación 16, en el que dicha capa de dispositivo consta de nanopuntos alineados de otra composición cristalina que la capa de dispositivo, estando el diámetro de nanopuntos en el intervalo de 2-100 nanometers.

15 38. El dispositivo de la reivindicación 37, en el que 80% de los nanopuntos están alineados dentro de 60 grados desde la normal a la capa de dispositivo.

FIG. 1

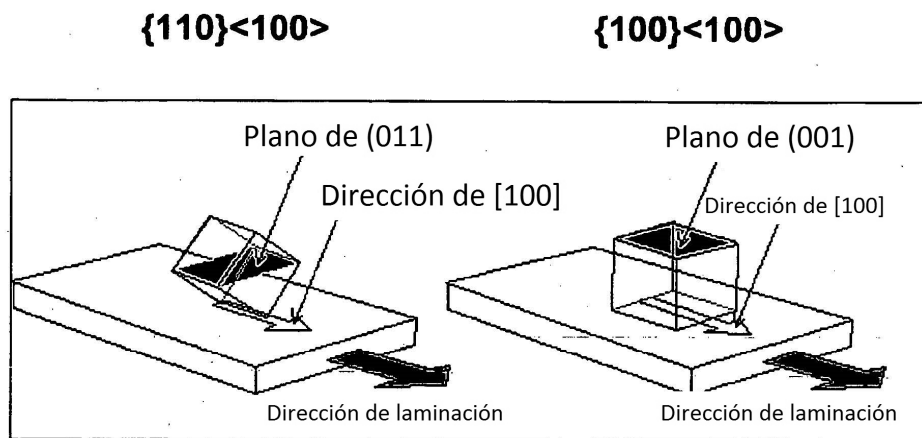


FIG. 2

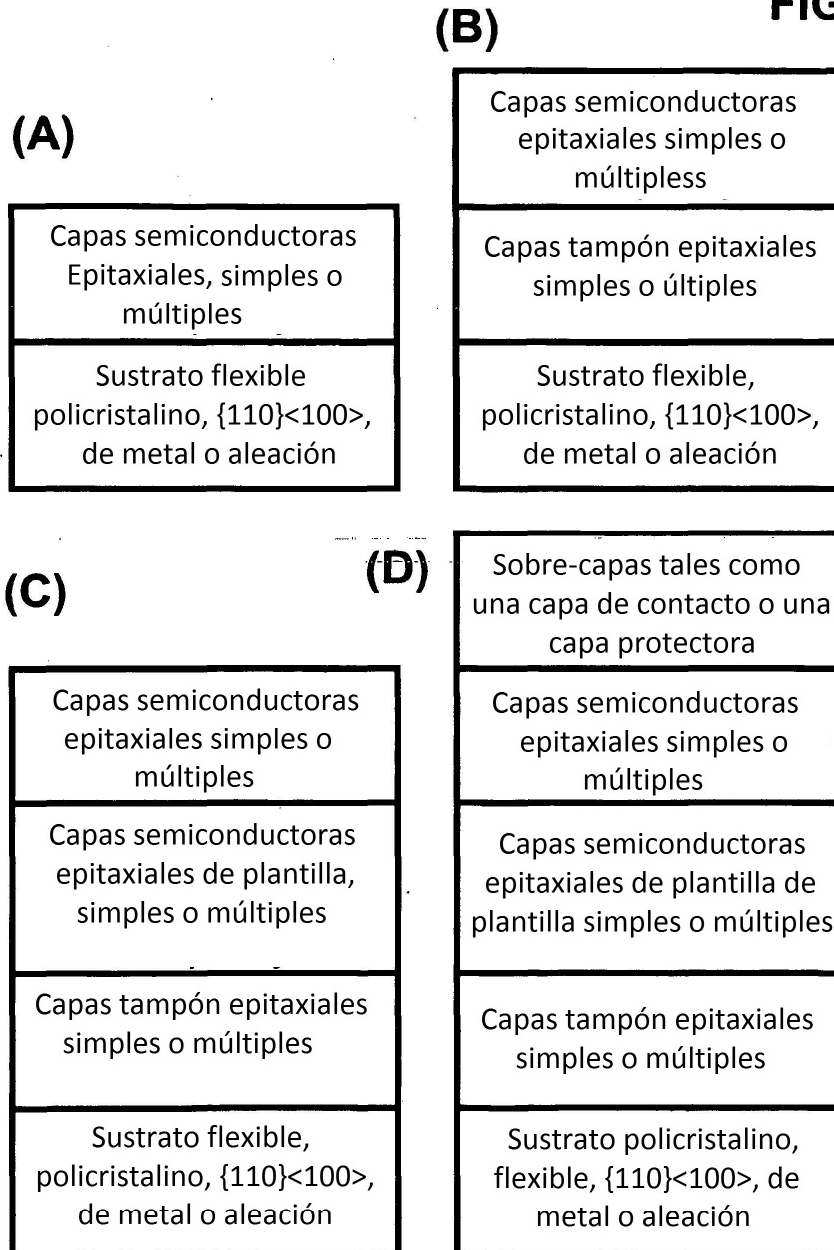


FIG. 3

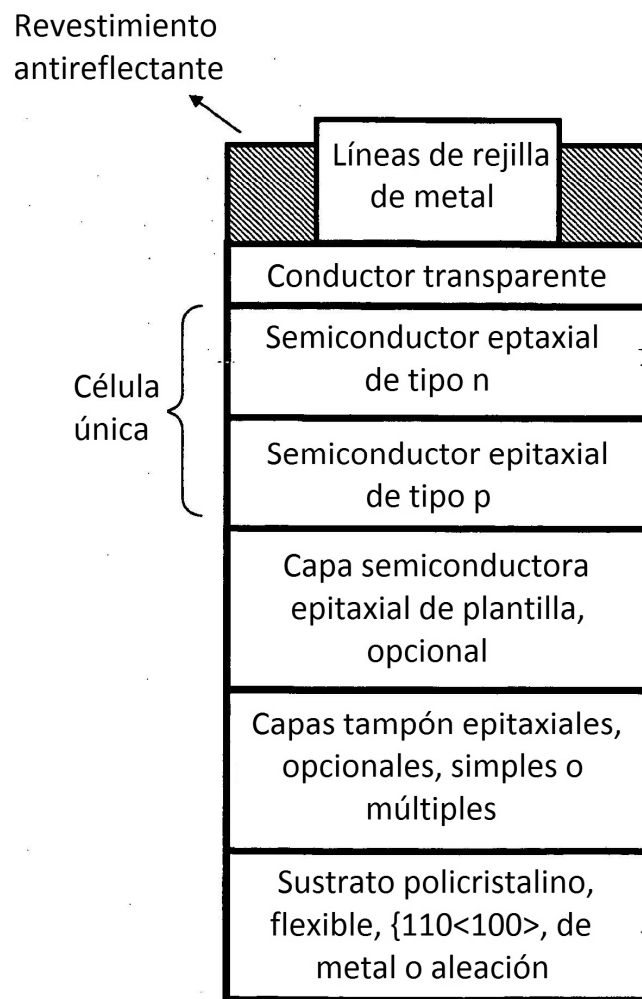


FIG. 4

Capa(s) de dispositivo semiconductor epitaxial, simple o múltiple, seleccionada de un grupo que comprende, pero sin limitación, banda prohibida indirecta, banda prohibida directa y semiconductores de multibanda prohibida.
Capa de plantilla semiconductora, epitaxial, opcional, o capa de plantilla semiconductora graduada para proporcionar coincidencia de celosía mejorada a la capa del dispositivo
Capas tampón simples o múltiples, teniendo al menos el tampón superior una textura {110}<100> o una {110}<100> girada 45 grados
Sustrato flexible, policristalino, de metal o aleación, con una textura de recristalización primaria o secundaria de {110}<100>

FIG. 5

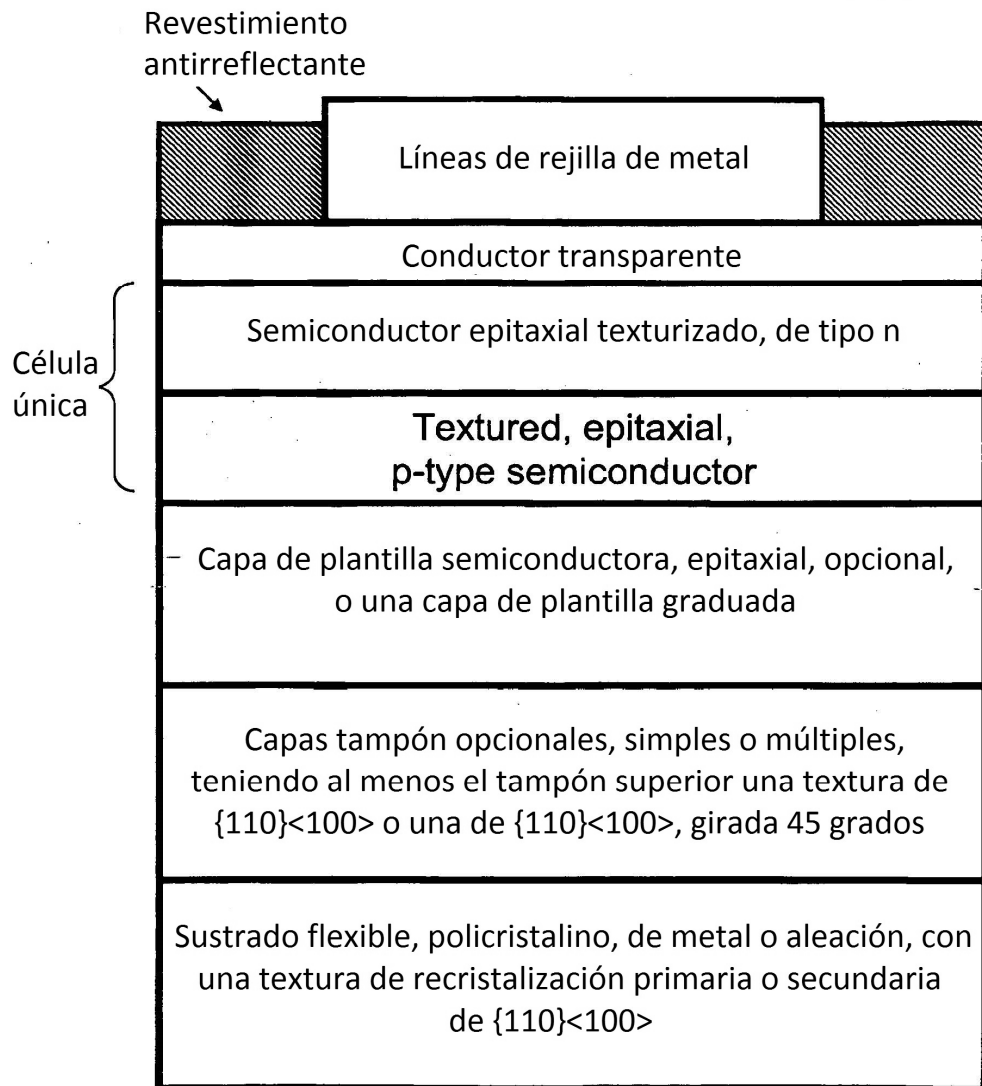
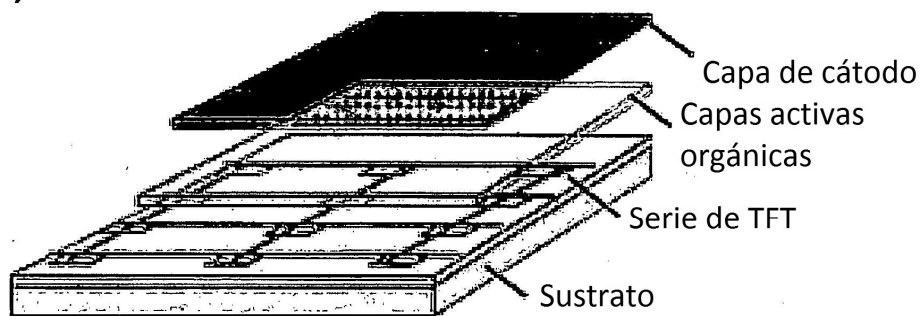


FIG. 6

(A)



(B)

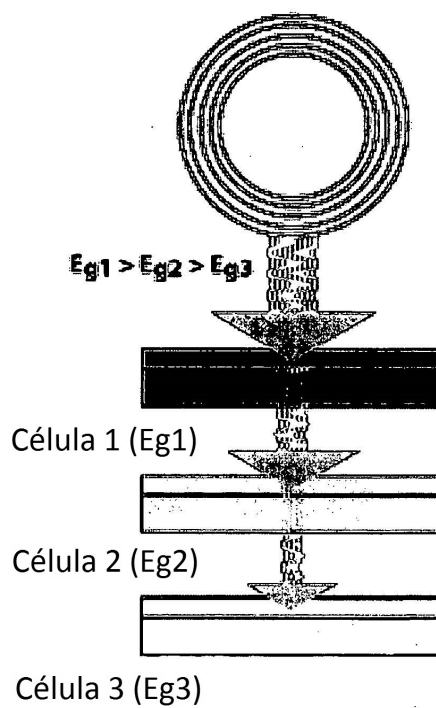


FIG. 7

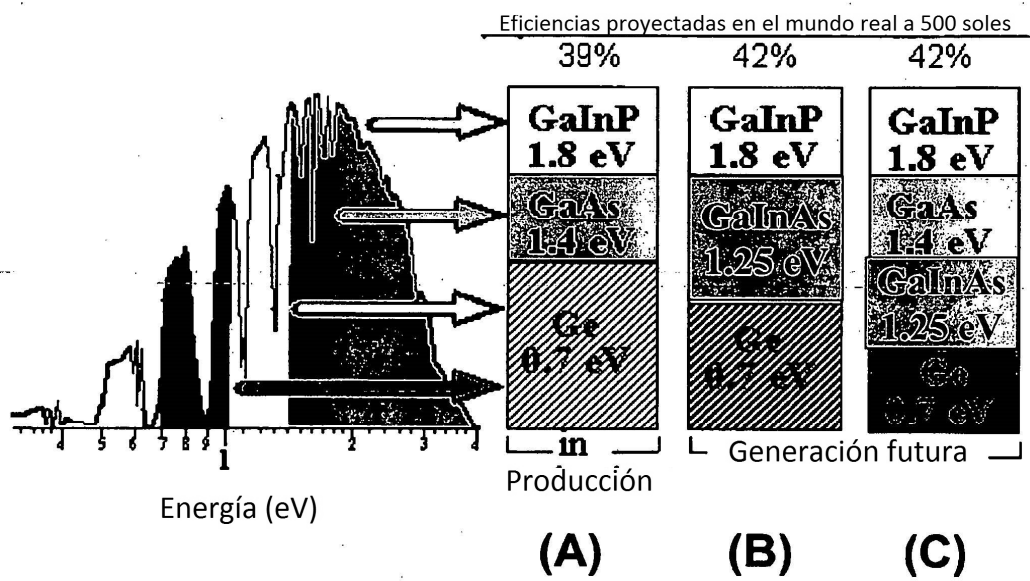


FIG. 8

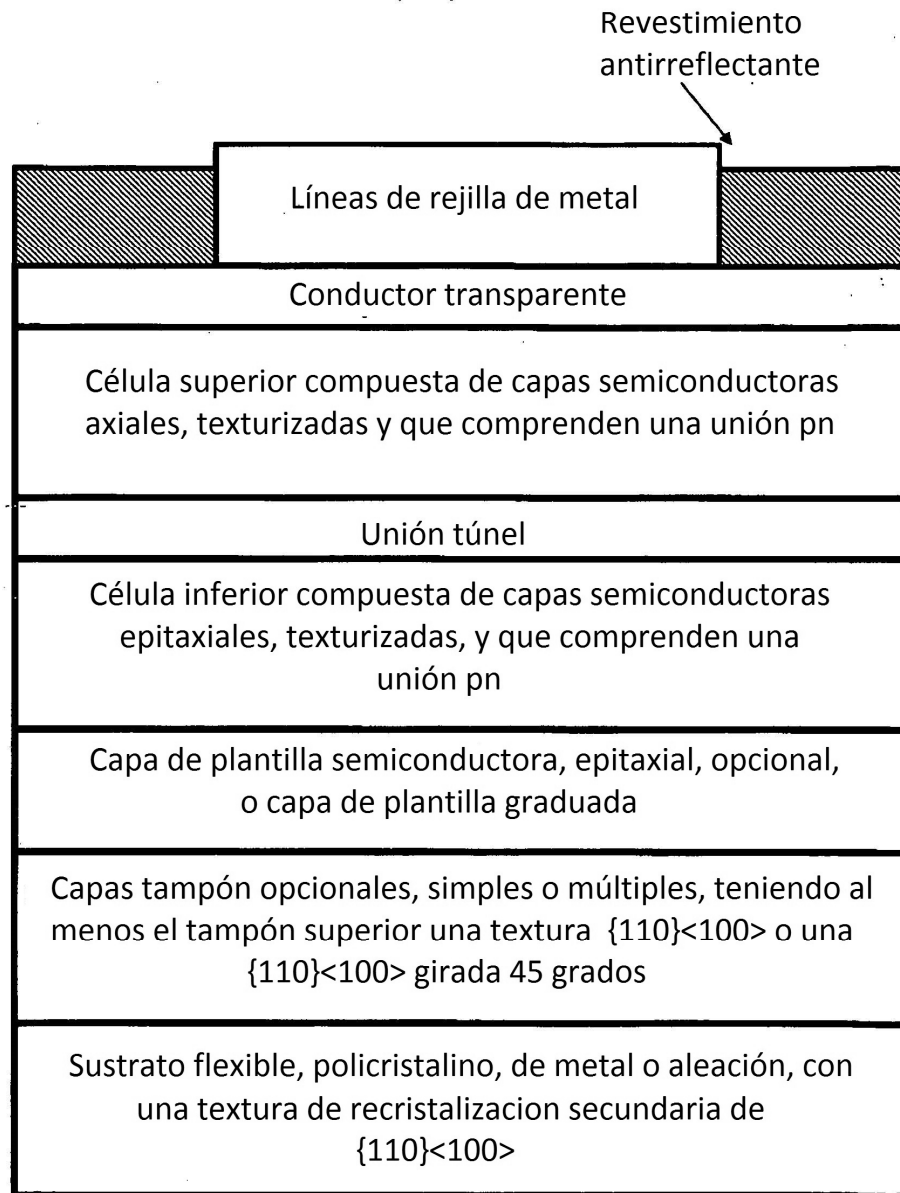


FIG. 9

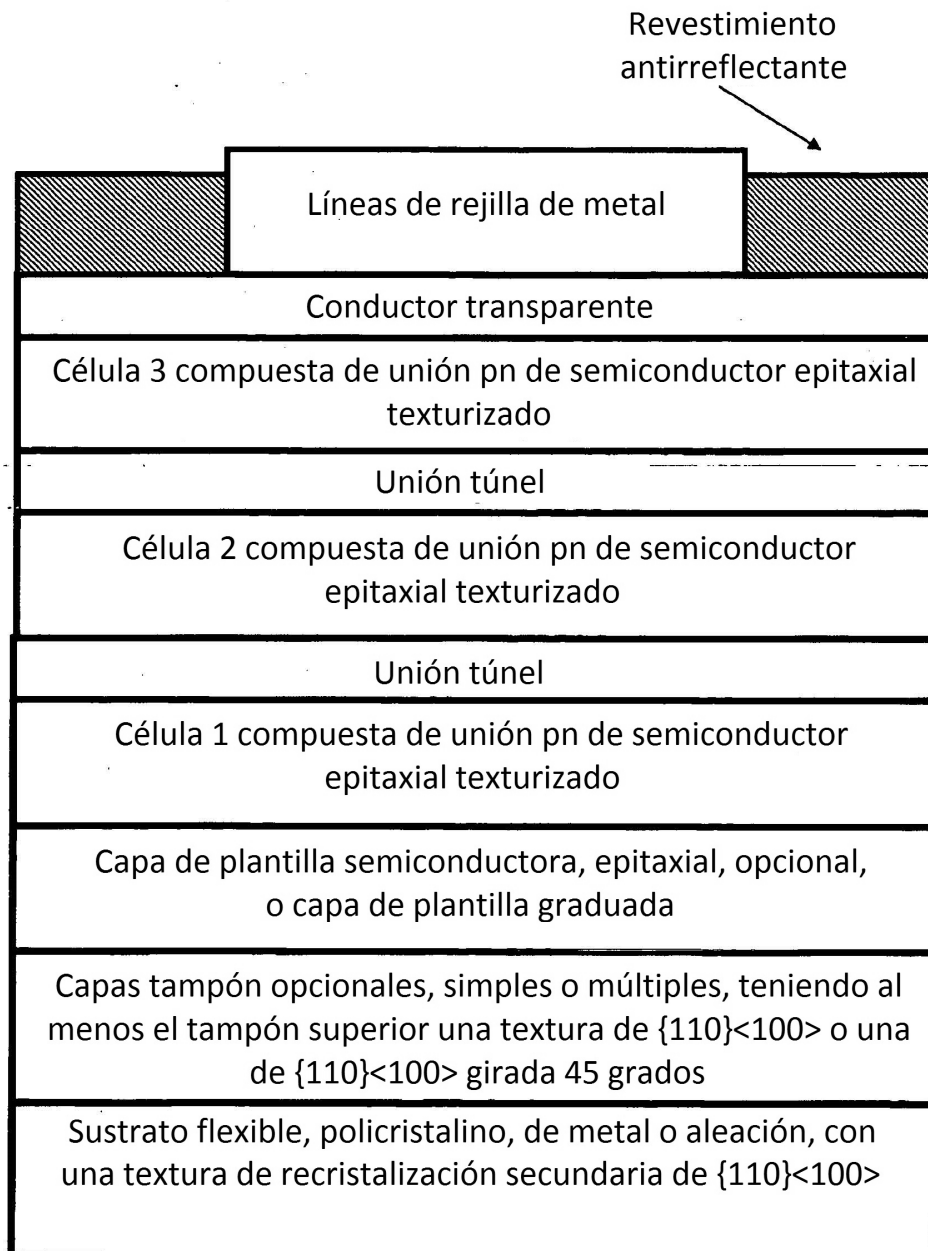


FIG. 10

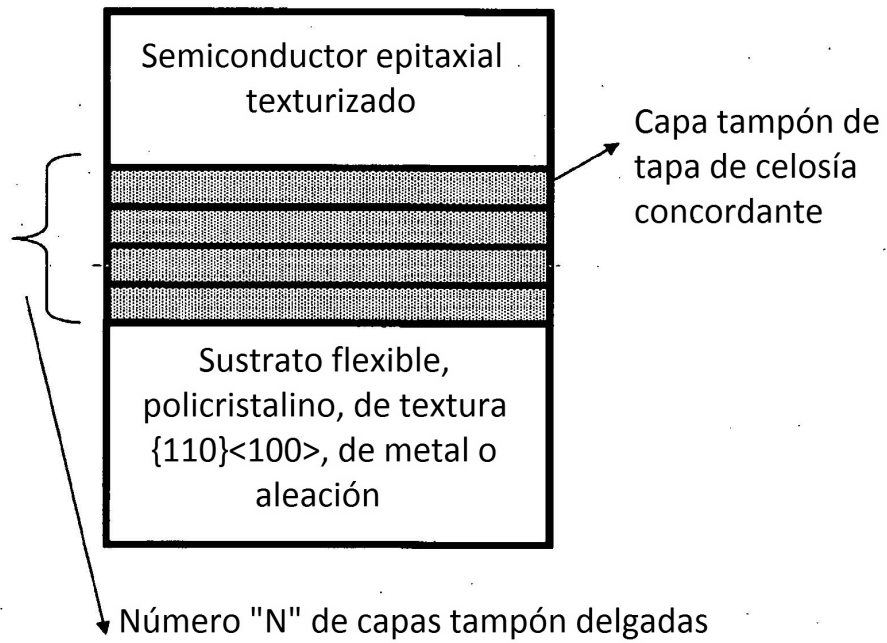


FIG. 11

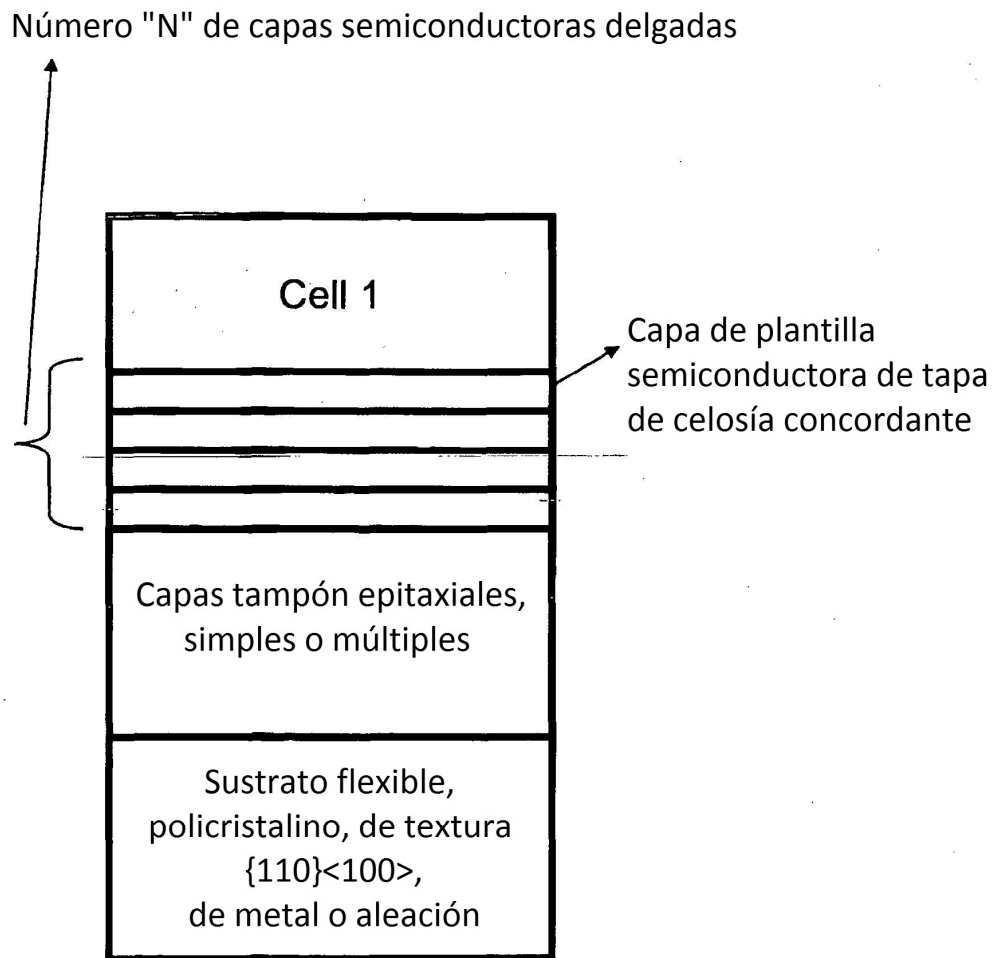
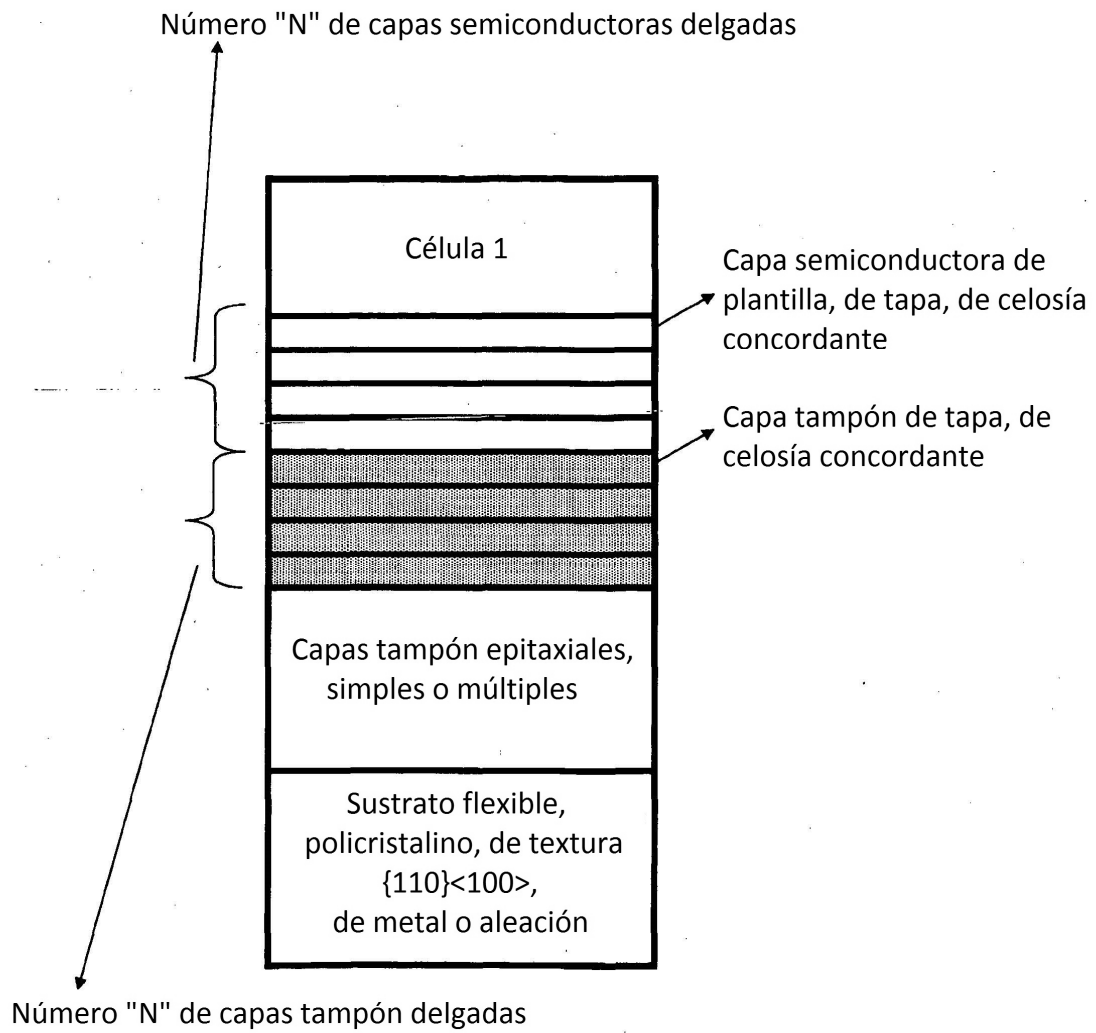


FIG. 12



(A)

Capa(s) de dispositivo semiconductor epitaxial
Capa semiconductor de plantilla, epitaxial, opcional, o capa de plantilla graduada
Capa(s) epitaxial y opcionalmente graduada, de óxido cúbico, nitruro, boruro, fluoruro, siliciuro o germaniuro
Sustrato policristalino, flexible, de textura {110}<100>, de metal o aleación

(B)

Capa(s) de dispositivo semiconductor epitaxial
Capa semiconductor de plantilla, epitaxial, opcional, o una capa de plantilla graduada
Capa(s) opcional, epitaxial y opcionalmente graduada, de óxido cúbico, nitruro, boruro, fluoruro, siliciuro o germaniuro
Capa(s) epitaxial y opcionalmente graduada, de metal o aleación
Sustrato policristalino, flexible, de textura {110}<100>, de metal o aleación

FIG. 13

FIG. 14

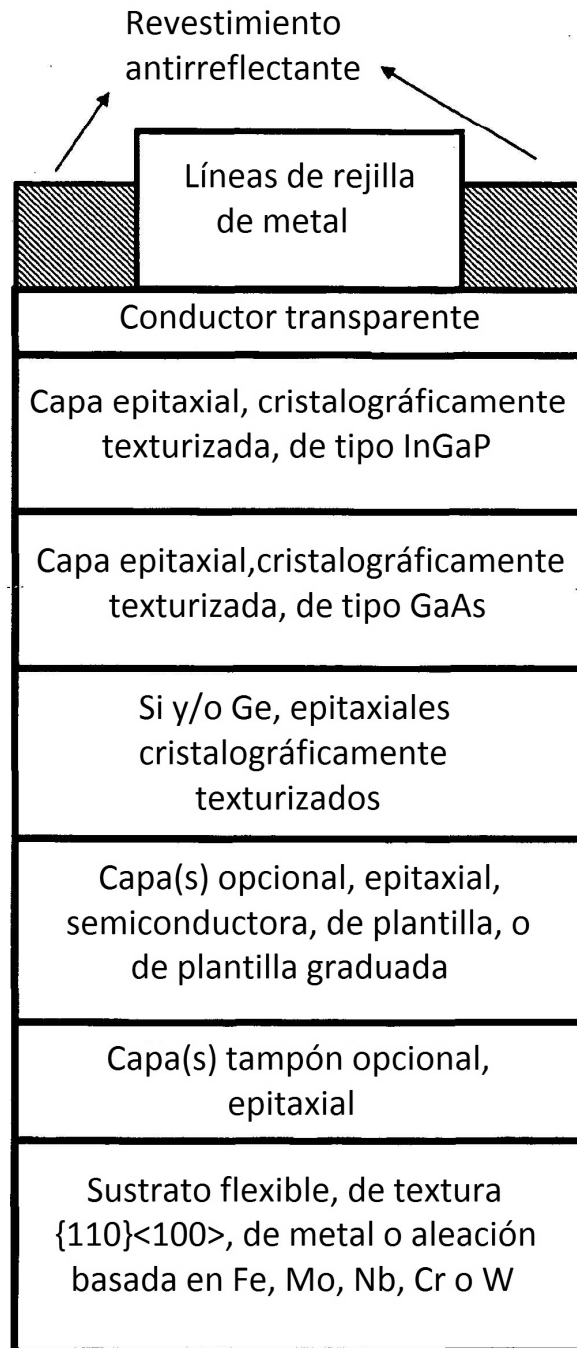
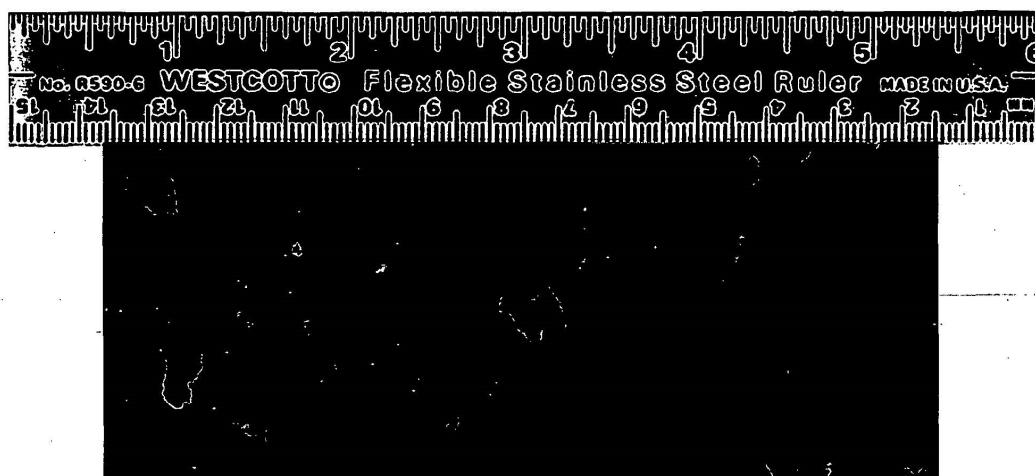


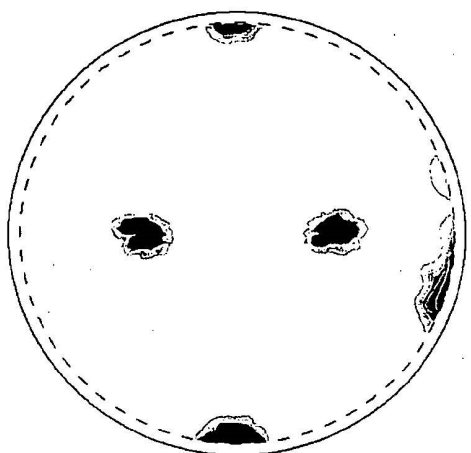
FIG. 15



Sustrato de Fe-3% Si, de textura {110}<100>

FIG. 16

A. Figura de Polo (200) de Fe-3%Si



B. Figura de Polo (110) de Fe-3%Si

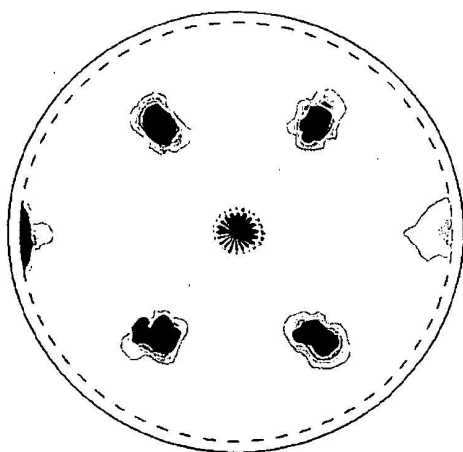
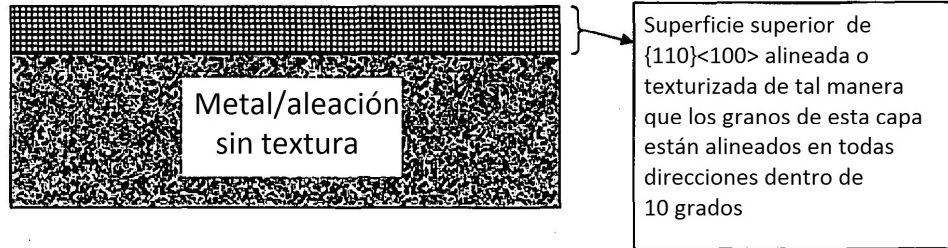


FIG. 17



FIG. 18

(A)



(B)

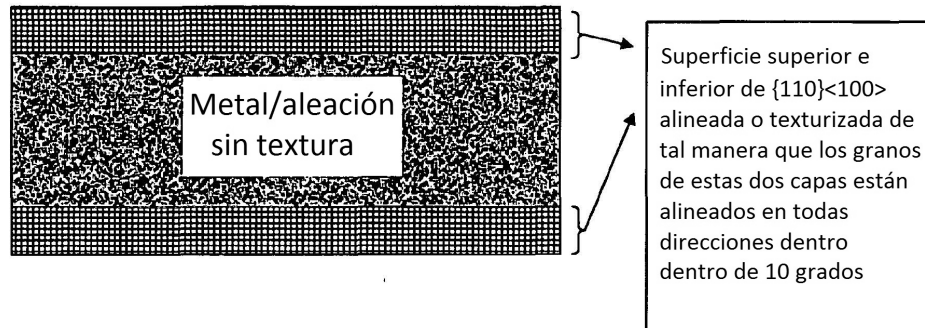


FIG. 19

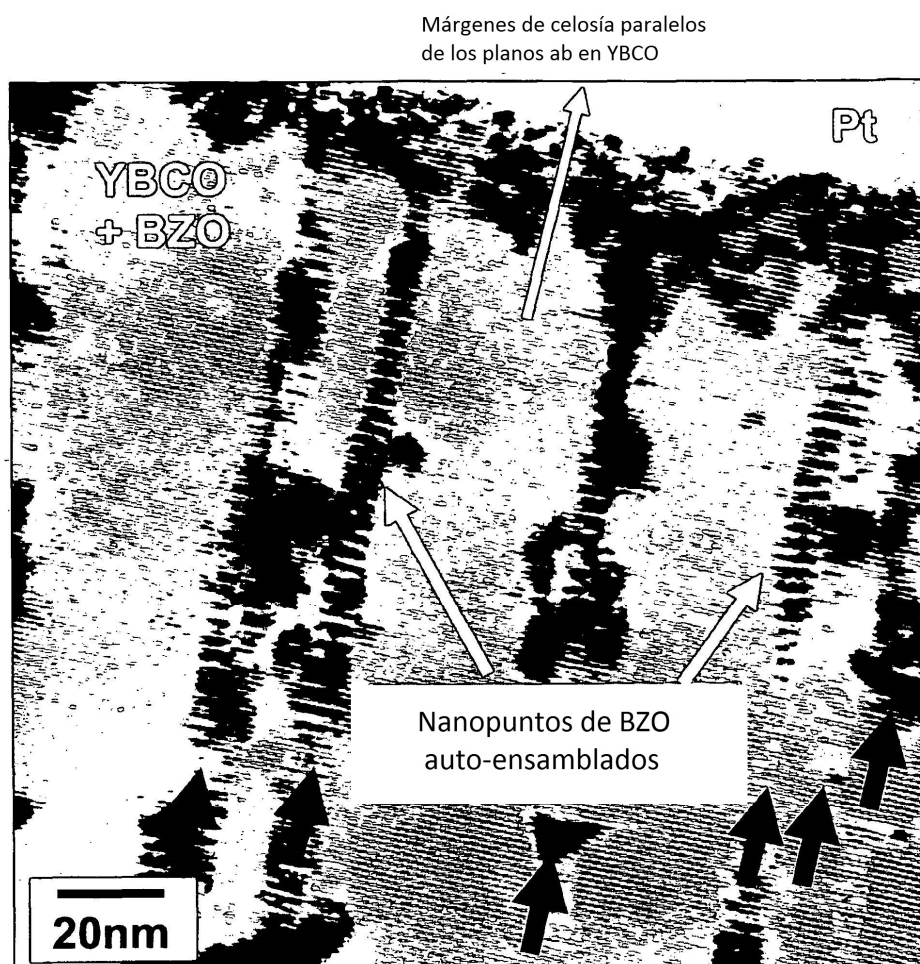


FIG. 20

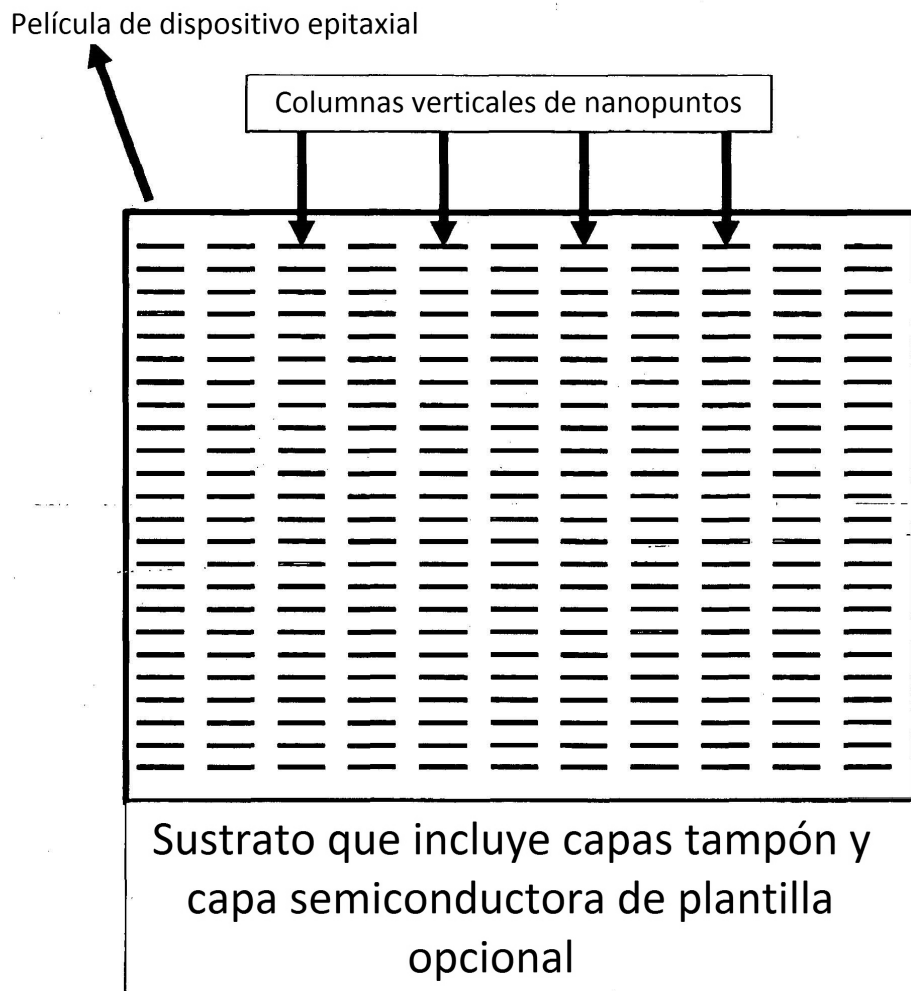


FIG. 21

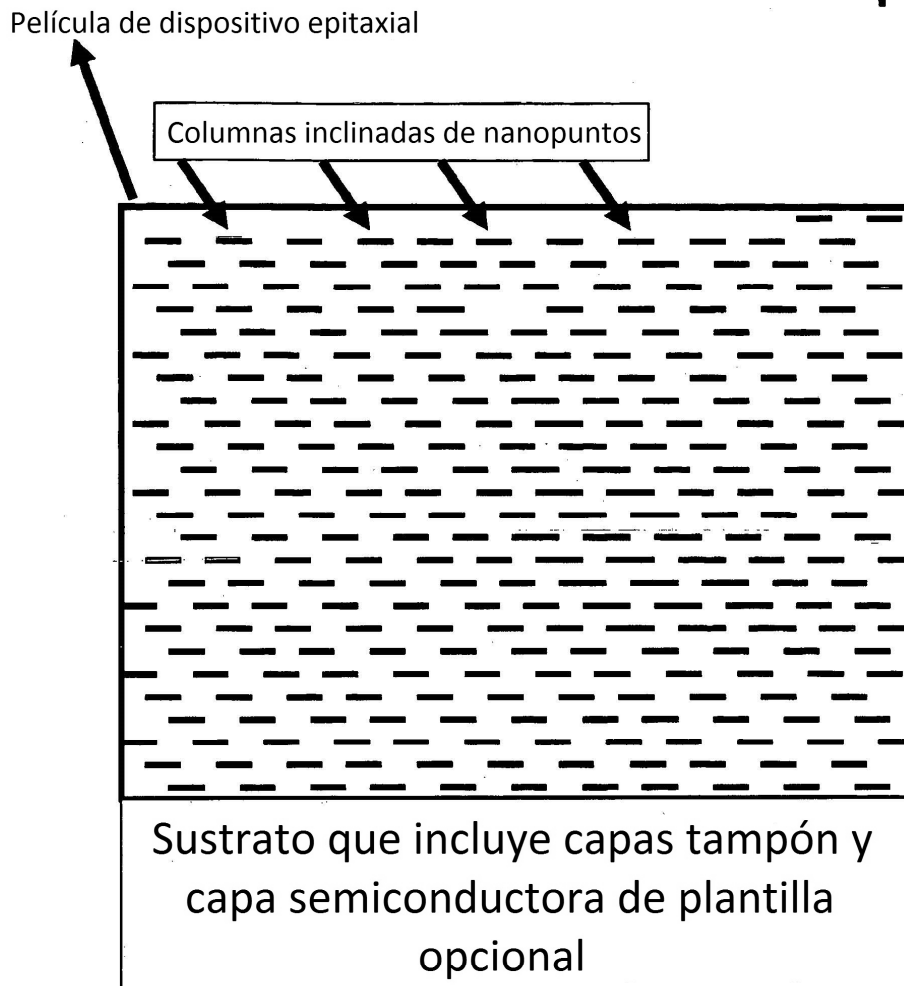


FIG. 22

