

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 591 255**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/20** (2006.01)

**H01L 31/074** (2012.01)

**H01L 31/0224** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2007 PCT/US2007/003459**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2007 WO07130188**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2007 E 07717230 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2016627**

54 Título: **Célula solar con contactos de heterounión semiconductores dopados**

30 Prioridad:

**04.05.2006 US 381681**

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

**25.11.2016**

73 Titular/es:

**SUNPOWER CORPORATION (100.0%)  
77 Rio Robles  
San Jose, CA 95134 , US**

72 Inventor/es:

**COUSINS, PETER, JOHN**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI, Peter**

ES 2 591 255 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**

Célula solar con contactos de heterounión semiconductores dopados

**5 Antecedentes de la invención**

Esta invención se refiere, en general, a células solares fotovoltaicas, y más particularmente la invención se refiere a una estructura de célula solar que funciona de forma eficiente y es económica de fabricar.

10 El uso de células fotovoltaicas para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica es muy conocido, véase la patente US-4.234.352 de Swanson, por ejemplo. En pocas palabras, la célula fotovoltaica comprende un sustrato de material semiconductor con uniones de tipo p-n definidas en ella. En la celda de silicio plana, las uniones p-n se forman cerca de una superficie del sustrato que recibe la radiación que incide en ella. Los fotones irradiados crean portadores móviles (huecos y electrones) y el sustrato, que pueden dirigirse a un circuito eléctrico fuera de la célula. Solo los fotones  
15 que tengan al menos un nivel mínimo de energía (por ejemplo, 1,1 electrón-volt para el silicio) pueden generar un par electrón-hueco en el par semiconductor. Los fotones con menos energía o bien no se absorben o se absorben como calor, y el exceso de energía de los fotones que tenga una energía de más de 1,1 electrón-volt (por ejemplo fotones que tengan una longitud de onda de 1,1  $\mu\text{m}$  y menos) generan calor. Estas y otras pérdidas limitan la eficiencia de las células fotovoltaicas de silicio para convertir directamente energía solar a electricidad a menos del 30%.

20 Las células solares con contactos interdigitados de polaridad opuesta en la superficie posterior de la célula se conocen y tienen numerosas ventajas sobre la células solares convencionales con contactos con rejillas de metal en la cara frontal y cubierta o rejilla metalizada en la cara posterior, que incluyen una fotogeneración mejorada debido a la eliminación del sombreado de la rejilla frontal, mucho menor resistencia en serie de la rejilla y mejor  
25 fotorrespuesta "azul" ya que no se necesita un dopado fuerte de la superficie frontal para minimizar la resistencia del contacto frontal porque no hay ningún contacto frontal. Además de las ventajas en cuanto al rendimiento, la estructura de la célula de contacto posterior permite simplificar el montaje del módulo gracias a los contactos coplanares. Véase, por ejemplo, la patente US-4.927.770 de Swanson.

30 Aunque se han fabricado células solares de contacto posterior (IBC) interdigitadas, los aspectos económicos han limitado la comercialización de las células solares IBC. Hasta ahora, se ha empleado el procesamiento de microelectrónica convencional (circuito integrado) en la fabricación de células solares IBC, incluido el uso de difusiones en la cara posterior, y líneas de metal fabricadas mediante procesos de fotolitografía microelectrónica convencional, metalización de película delgada y grabado químico. Este proceso de fabricación es capaz de producir células solares  
35 de alta eficiencia, pero el proceso no es rentable para aplicarlo en paneles solares convencionales de placas planas de bajo coste. El problema clave de la realización práctica de una célula solar IBC por este proceso es el alto coste de fabricación, incluidos el grabado químico, dopado y alineación de la máscara, y el uso de deposición del conductor de metal grueso por evaporación al vacío o deposición electrónica. Además, el procesamiento debe llevarse a cabo en un entorno de "sala blanca" exento de toda contaminación. Así las células solares IBC fabricadas utilizando estos métodos  
40 han visto limitada su aplicación a células solares de alta concentración o en aplicaciones de un sol de muy alto valor.

US-7.718 888 B2 combina un sustrato semiconductor con contactos de polímero aceptor y donador para proporcionar una célula solar que es económica de fabricar. Lo que es más importante, la fabricación de la célula solar se mejora en cuanto al coste y a una menor temperatura a través de la aplicación del chorro de tinta de los  
45 contactos de polímero sin la necesidad de enmascaramiento fotorresistente, grabado químico, difusión del dopante y recocido, como requieren las células solares del estado de la técnica.

US-5.057.439 A se refiere a un método de fabricación de emisores de polisilicio para células solares. A.S. Gudovskikh et al investigan las propiedades de la interfase de las células solares con heterounión a-Si:H/c-Si.

50 La presente invención utiliza un semiconductor como el silicio amorfo como contacto donador y aceptor en una célula solar de silicio que puede fabricarse de forma sencilla y rentable.

**Sumario de la invención**

55 La invención utiliza silicio amorfo dopado, Si-Ge, o compuestos III-V como contacto donador o aceptor en una célula solar de silicio. El material del contacto puede depositarse en fase vapor junto con el dopante como se estime necesario para la aplicación del donador o del aceptor. Según se usa en la presente memoria, silicio "amorfo" incluye silicio "policristalino".

60 Cuando se deposita sobre un solo sustrato de silicio cristalino, primero crece un óxido con efecto túnel y se separa un silicio amorfo depositado del sustrato para evitar la recristalización del silicio amorfo.

65 En una célula de contacto posterior (IBC) interdigitada, la superficie frontal puede ser texturada por abrasión química o física para proporcionar una superficie de captura de la radiación con un recubrimiento antirreflectante y de pasivación como nitruro de silicio, carburo de silicio dopado o una capa delgada de silicio amorfo sobre la superficie texturada.

La invención, así como su objeto y características, se deducirán mejor de la lectura de la siguiente descripción detallada y de las reivindicaciones que se adjuntan tomando como referencia los dibujos.

5 En particular, una célula solar según la presente invención se define en la reivindicación 1. Un método de fabricación de una célula solar según la presente invención se define en la reivindicación 10. Otras realizaciones ventajosas se definen en las reivindicaciones dependientes.

**Breve descripción de los dibujos**

10 La Fig. 1 es una vista lateral en sección de una célula solar de contacto posterior interdigitada que incluye un contacto amorfo dopado según una realización de la invención.

15 Las Figs. 2A - 2D son vistas laterales en sección que ilustran la célula solar de la Fig. 1 durante su fabricación.

**Descripción de las formas de realización preferidas**

20 Según una realización de la invención, una célula solar de contacto posterior (IBC) interdigitada comprende un cuerpo de silicio semiconductor que tiene una primera y una segunda superficie principal opuesta, recibe radiación a través de la primera superficie y tiene un primer y un segundo patrón del silicio amorfo dopado aceptor y del silicio amorfo dopado donador, respectivamente, en la segunda superficie o posterior para recibir los portadores de electrón y hueco creados en el sustrato de silicio por fotones irradiados. La estructura es similar a las células solares de contacto posterior del estado de la técnica que utilizan contactos de conductividad P y N dopados formados en los sustratos para recibir los huecos y electrones creados por la radiación. Sin embargo, el uso de contactos P y N dopados en el sustrato requiere de un procesamiento de enmascaramiento fotorresistente, grabado químico, difusión del dopante y elevada temperatura en la fabricación de la célula solar. El uso de contactos de silicio amorfo aceptores y donadores sobre la estructura, según una realización de la invención, evita la necesidad de un procesamiento de enmascaramiento fotorresistente, difusión del dopante y elevada temperatura necesaria en el recocido de los dopantes difundidos. Se puede colocar un óxido de silicio con efecto túnel entre los contactos y el sustrato para evitar el crecimiento epitaxial de silicio amorfo sobre el sustrato.

30 A continuación se hace referencia a la Fig. 1, que es una vista lateral en sección de una célula solar de contacto posterior (IBC) interdigitada según una realización de la invención. La célula incluye un sustrato 10 monocristalino o policristalino con luz de tipo n que tiene una superficie frontal que recibe la radiación y una superficie texturada sobre la cual se forma una capa 12 delgada (de por ejemplo 10-150 Angstrom) de óxido de silicio con efecto túnel, con un recubrimiento 14 de pasivación sobre el óxido 12 de efecto túnel que puede comprender nitruro de silicio, carburo de silicio dopado o una capa de silicio amorfo dopado.

35 En la superficie posterior del sustrato 10 hay una segunda capa 16 de óxido con efecto túnel sobre la que se forman los contactos 18 de silicio amorfo P+. Un dieléctrico, como óxido 20 de silicio separa el silicio amorfo 18 P+ del silicio amorfo 22 N+ que se forma en las aberturas a través de la capa 18 de silicio amorfo P+ y en contacto con el óxido 16 de efecto túnel. Aunque las capas 18, 22 de silicio amorfo se forman por deposición en fase vapor a baja temperatura, el óxido 16 de efecto túnel impide cualquier recristalización del silicio amorfo por el crecimiento epitaxial del sustrato 10 de silicio. El contacto metálico 24 se acopla a la capa 18 de silicio amorfo P+ y los contactos metálicos 26 se acoplan a las capas 22 de silicio amorfo N+.

45 La heterounión de los contactos posteriores mejora la pasivación posterior de la célula solar por la inclusión del óxido 16 con efecto túnel, el campo de heterounión proporcionado por los contactos de silicio amorfo y la pasivación de los contactos. Como se describirá más adelante en la presente memoria, una ventaja del proceso de fabricación del dispositivo es que no se requiere un sistema dopante de alta temperatura.

50 Las Figs. 2A-2D son vistas en sección que ilustran la célula solar de la Fig. 1 durante su fabricación. Inicialmente, como se muestra en la Fig. 2A, el sustrato 10 de silicio, que puede ser o bien intrínseco o estar ligeramente dopado, tiene un óxido 16 delgado con efecto túnel que ha crecido sobre él, que puede tener un espesor de 10-20 Angstrom, por ejemplo. La capa 18 de silicio amorfo se deposita a continuación, con un dopante de boro y una concentración de dopante de  $10^{20}$ - $10^{21}$  o  $10E20$  -  $10E21$  átomos por centímetro cúbico y un espesor de 500 a 2000 Angstrom. El crecimiento de una capa de silicio dopado por deposición en fase vapor es un procesamiento del silicio conocido. La inclusión de una capa intrínseca debajo de la capa de silicio dopado de tipo p se puede hacer si se desea una estructura PIN.

60 Después, se deposita una capa aislante de óxido 20 de silicio por deposición química en fase vapor a baja presión (LPCVD, PECVD, APCVD), o por un proceso de giro sobre vidrio. La capa 16 de óxido de silicio es de 500 a 1000 Angstrom en esta realización ilustrativa.

65 A continuación, como se ilustra en la Fig. 2B, la superficie frontal del sustrato 10 se texturiza mediante abrasión química o mecánica. Esta etapa del proceso puede preceder a las etapas del proceso de la Fig. 2A, si se desea. Una máscara fotorresistente se forma entonces sobre la superficie posterior del sustrato 10 y se graba químicamente para formar aberturas a través de la capa 20 de óxido de silicio y silicio amorfo 18 al sustrato 10. El

5 óxido con efecto túnel delgado también se elimina en el proceso de grabado químico y después se aplica una nueva capa de óxido de silicio con efecto túnel en la superficie expuesta del sustrato 10 a través de las aberturas grabadas por crecimiento químico. En la formación del óxido 16 con efecto túnel de la Fig. 2B, la capa 12 de óxido con efecto túnel se puede formar simultáneamente en la superficie frontal. Tras el crecimiento del óxido con efecto túnel delgado en las aberturas grabadas químicamente, de nuevo hasta un espesor de 10-20 Angstrom, se deposita una capa 22 de silicio amorfo dopado N+ sobre la superficie posterior, como se muestra en la Fig. 2C.

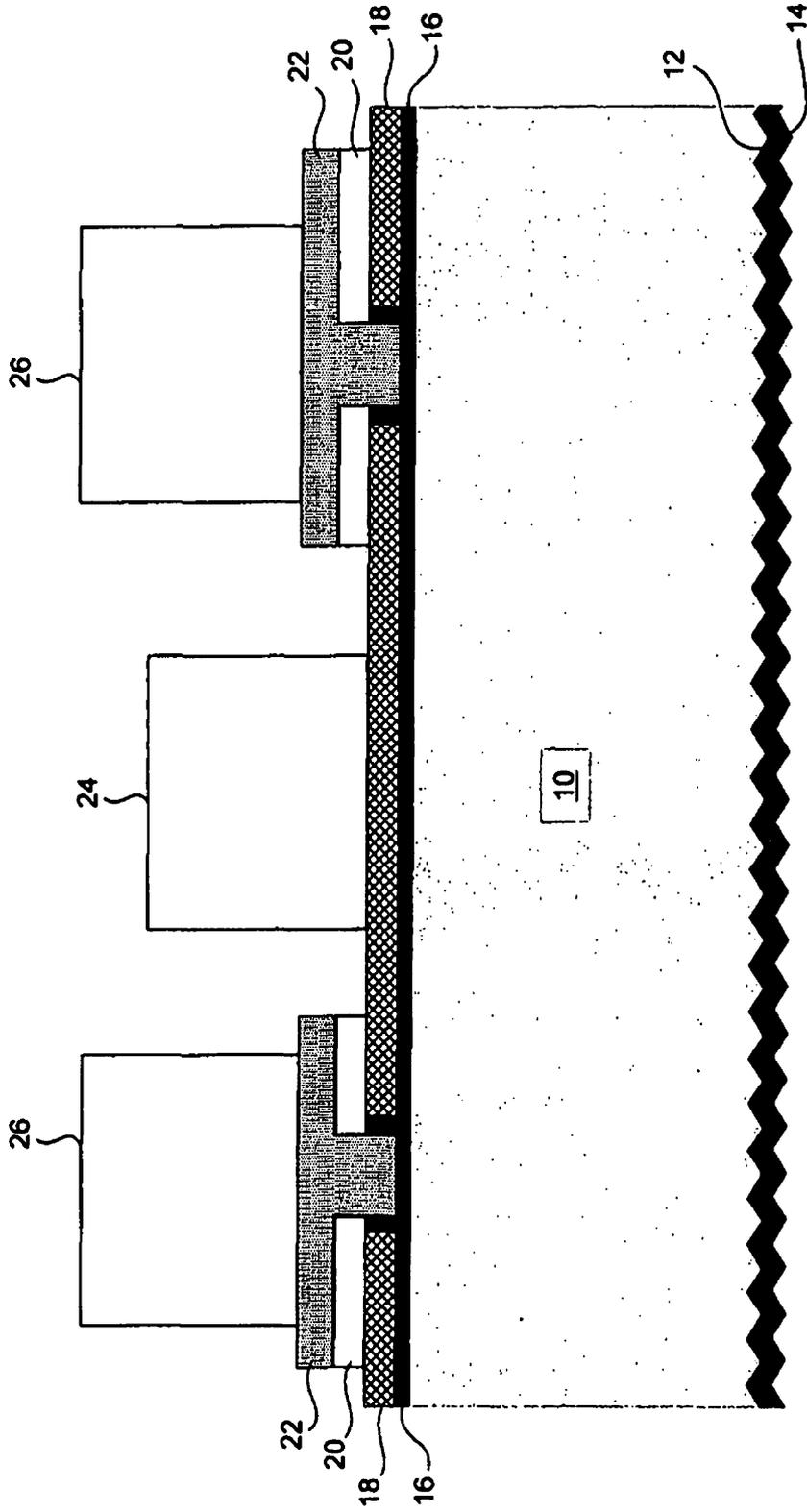
10 La capa 22 se dopa con un dopante N, como fósforo con una concentración de  $10^{20}$ - $10^{21}$  o  $10E20$ - $10E21$  átomos por centímetro cúbico. Este puede depositarse utilizando deposición química en fase vapor (PECVD, LPCVD, APCVD).  
15 Entonces se enmascara el silicio amorfo 22 N+ y se graba químicamente de forma selectiva para exponer el silicio amorfo 18 P+ que está debajo para recibir los contactos metálicos. En la Fig. 2D, los contactos metálicos 24 y 26 se hacen, para el silicio amorfo 18 P+ y el silicio amorfo 22 N+ por deposición de metal, enmascaramiento fotorresistente y grabado químico. Los contactos se pueden formar dispersando primero una capa de semillas de un metal conductor, como aluminio o cobre, colocando después el metal semilla en una placa con el patrón para aumentar el espesor. La célula se completa entonces mediante el depósito de una capa 14 de pasivación sobre el óxido 12 con efecto túnel en la superficie frontal del sustrato 10 utilizando nitruro de silicio, carburo de silicio dopado o silicio amorfo dopado N+.

20 Una célula solar con heterounión según la invención empleando contactos de silicio amorfo dopado se fabrica fácilmente usando técnicas de procesamiento de semiconductores convencionales sin el procesamiento a elevada temperatura. La invención se refiere a una célula solar de contactos posteriores interdigitada en la que se emplean contactos tanto P+ como N+ en la superficie posterior. Además, aunque la heterounión la proporciona el silicio amorfo, en las estructuras de los contactos se puede emplear otro material con elevada banda prohibida, como aleación de germanio y silicio, carburo de silicio dopado u otro material de compuestos III-V.

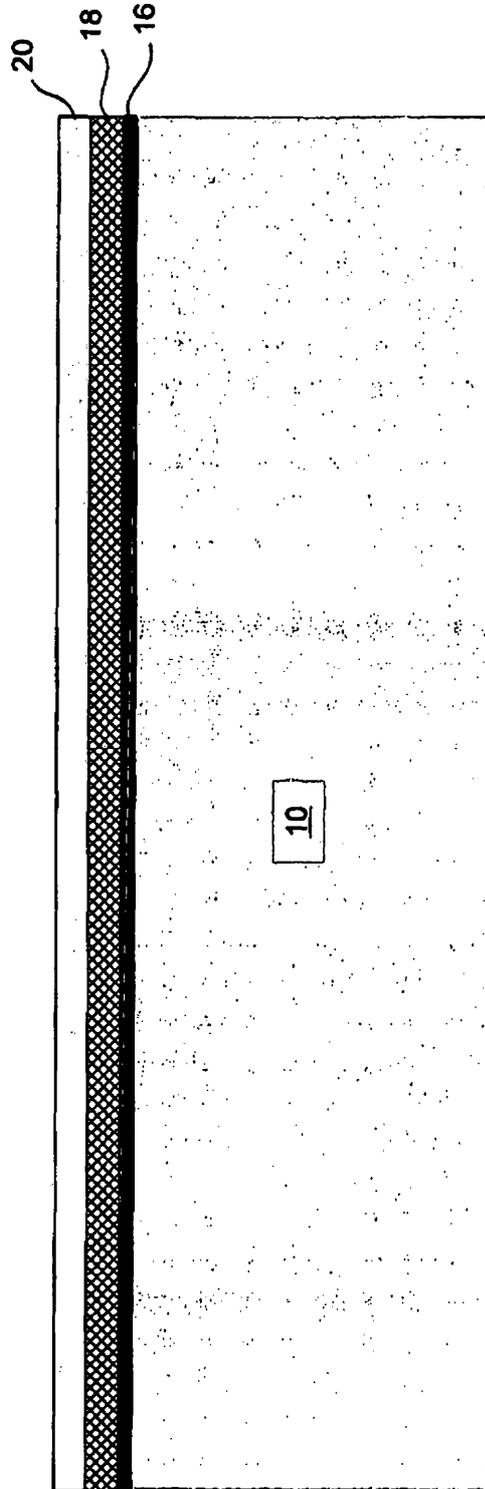
**REIVINDICACIONES**

1. Una célula solar que comprende:
- 5 a) un cuerpo semiconductor (10) que tiene una primera y una segunda superficie principal opuesta,
- b) una primera capa dieléctrica (12) sobre la primera superficie y una segunda capa dieléctrica (16) sobre la segunda superficie, comprendiendo la segunda capa dieléctrica (16) un óxido con efecto túnel,
- 10 **caracterizada por**
- c) un primer patrón (18) de material semiconductor aceptor dopado sobre el óxido con efecto túnel en la segunda superficie, y un segundo patrón (22) de material semiconductor dopado donador sobre el óxido con efecto túnel en la segunda superficie y sobre el primer patrón, de manera que el segundo patrón (22) esté intercalado con el primer patrón (18), y
- 15 d) un primer patrón conductor (24) que interconecta el material semiconductor dopado aceptor y un segundo patrón conductor (26) que interconecta el material semiconductor dopado donador.
- 20 2. La célula solar definida en la reivindicación 1, que además comprende una capa aislante dieléctrica de óxido (20) de silicio que separa el primer patrón (18) del segundo patrón (22).
3. La célula solar definida en la reivindicación 1 ó 2, en donde el material semiconductor se selecciona del grupo que consiste en silicio amorfo, silicio y germanio, y semiconductores de compuestos III-V.
- 25 4. La célula solar definida en la reivindicación 3, en donde el material semiconductor comprende silicio amorfo.
5. La célula solar definida en la reivindicación 4, en donde el silicio amorfo dopado aceptor es dopado con boro.
- 30 6. La célula solar definida en la reivindicación 5, en donde el silicio amorfo dopado donador es dopado con fósforo.
7. La célula solar definida en la reivindicación 6, en donde la primera superficie principal está texturizada.
8. La célula solar definida en la reivindicación 3 ó 7, en donde el cuerpo semiconductor comprende silicio y el óxido con efecto túnel comprende óxido de silicio.
- 35 9. La célula solar definida en la reivindicación 8, en donde el primer y el segundo patrón conductor (24, 26) se seleccionan del grupo que consiste en aluminio y cobre.
- 40 10. Un método de fabricación de una célula solar de silicio que comprende:
- a) proporcionar un sustrato (10) de silicio que tiene una primera y una segunda superficie principal opuesta,
- 45 b) formar una primera capa dieléctrica (12) sobre la primera superficie principal y formar una segunda capa dieléctrica (16) sobre la segunda superficie principal, comprendiendo la segunda capa dieléctrica (16) un óxido con efecto túnel, y
- 50 **caracterizada por**
- c) formar un primer patrón (18) de material semiconductor aceptor dopado sobre la capa (16) de óxido con efecto túnel en la segunda superficie principal, y formar un segundo patrón (22) de material semiconductor dopado donador sobre la capa de óxido con efecto túnel en la segunda superficie principal y sobre el primer patrón, de manera que el segundo patrón (22) esté intercalado con el primer patrón (18), y
- 55 d) formar un primer patrón conductor (24) que interconecta el material semiconductor dopado aceptor y un segundo patrón conductor (26) que interconecta el material semiconductor dopado donador.
- 60 11. Las etapas del método de la reivindicación 10, en donde el material semiconductor dopado aceptor o donador tiene un exceso de dopante de  $10^{19}$  átomos por cc.
12. Las etapas del método de la reivindicación 10 u 11, en donde el dopante donador comprende fósforo.
- 65 13. Las etapas del método de la reivindicación 10 u 11, en donde el dopante aceptor comprende boro.

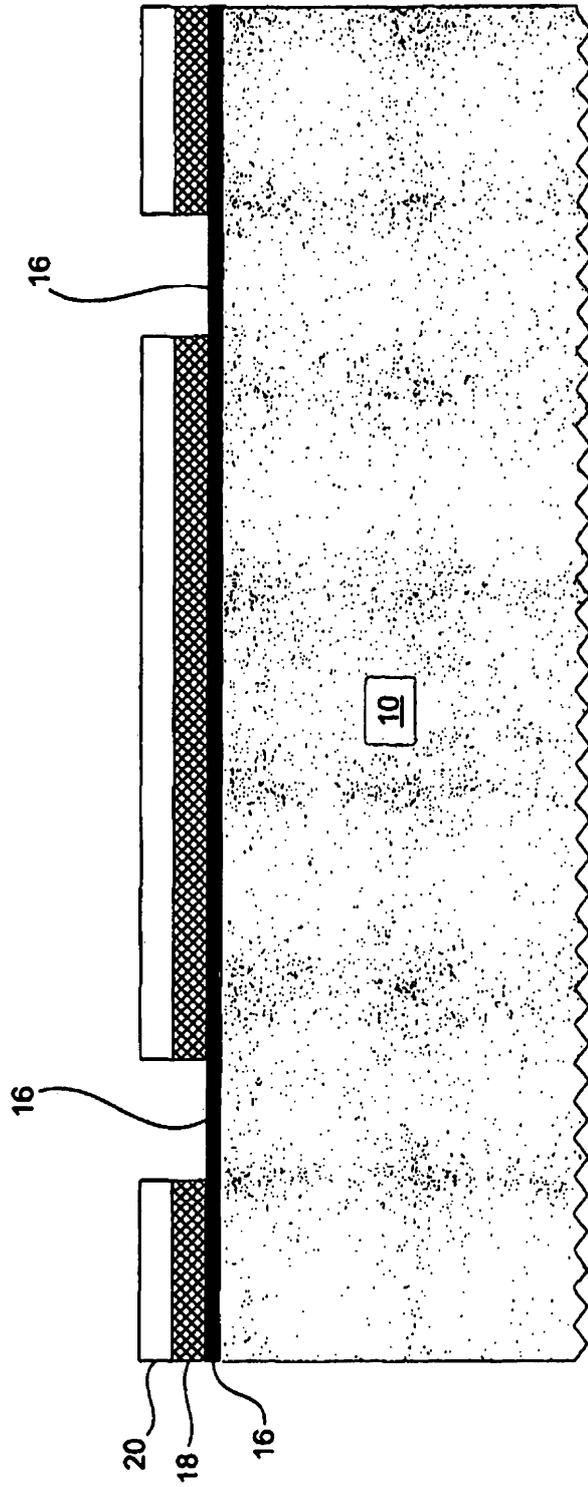
14. Las etapas del método de la reivindicación 10, en donde la capa (16) de óxido con efecto túnel tiene un espesor del orden de 10-20 Angstrom.



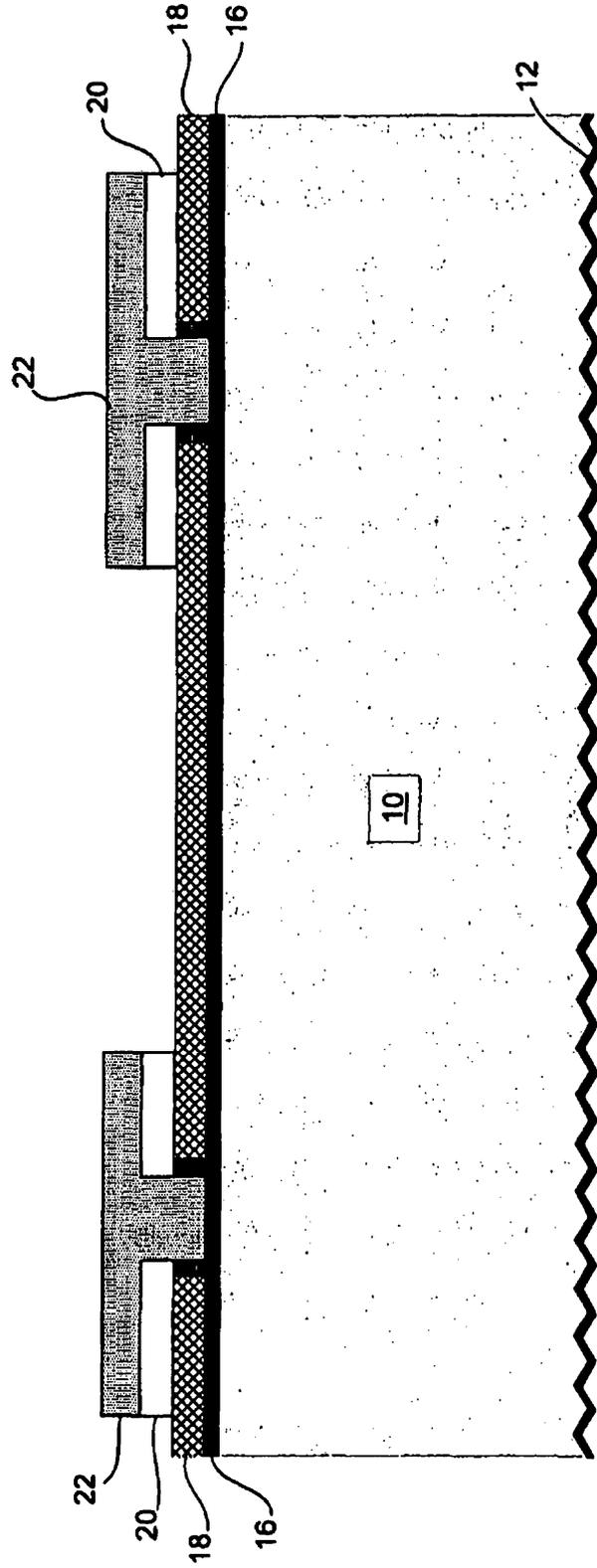
**FIG. 1**



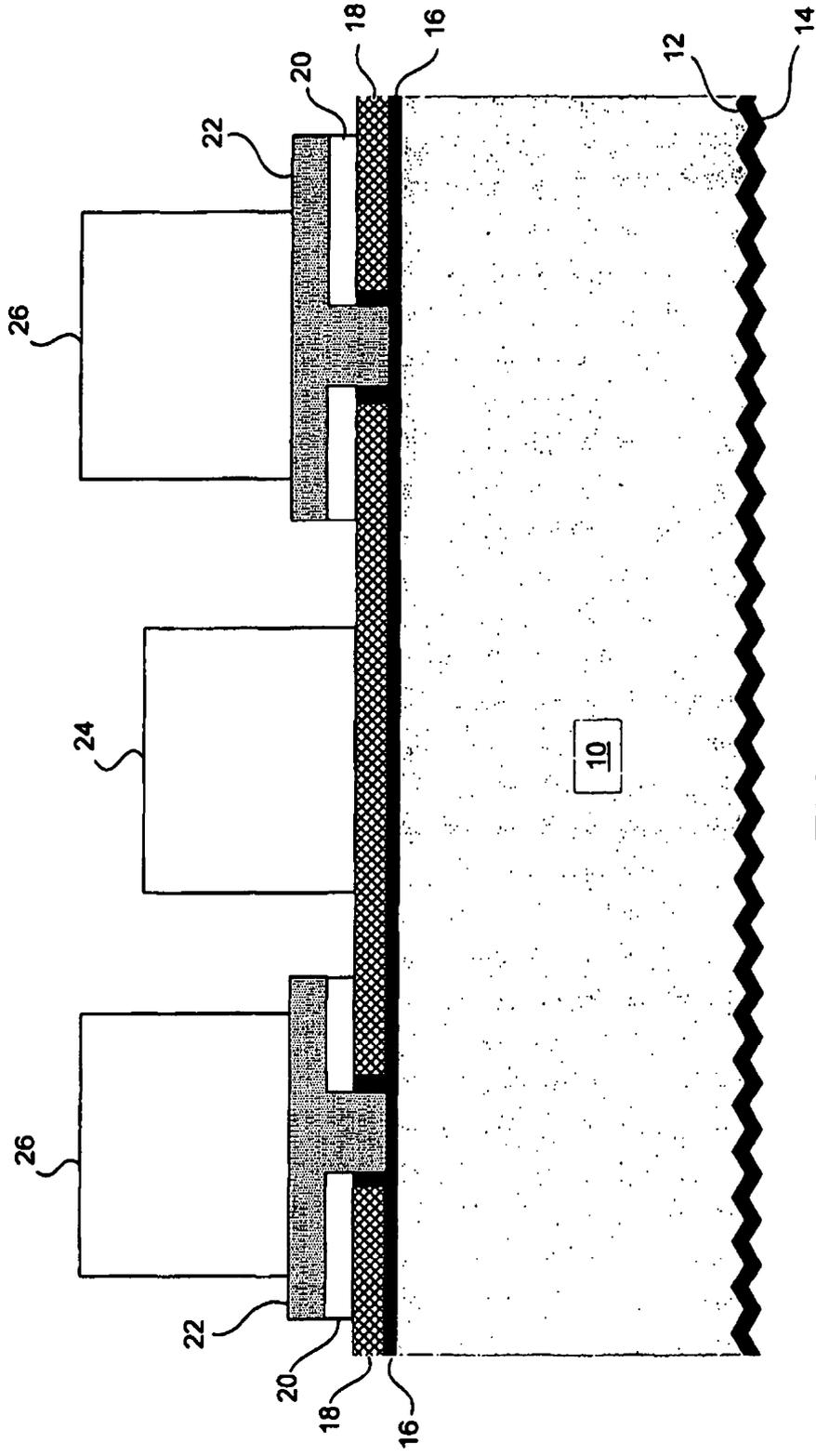
**FIG. 2A**



**FIG. 2B**



**FIG. 2C**



**FIG. 2D**