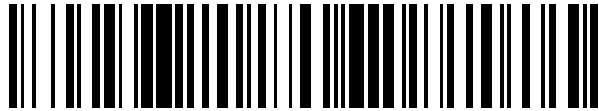


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 810 599**

21 Número de solicitud: 201930783

51 Int. Cl.:

**H01L 33/08** (2010.01)  
**H01L 33/26** (2010.01)  
**H01L 33/32** (2010.01)  
**H01L 33/14** (2010.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**06.09.2019**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**08.03.2021**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**08.06.2021**

Fecha de concesión:

**07.12.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**15.12.2021**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID (100.0%)**  
**Ciudad Universitaria de Cantoblanco**  
**C/ Einstein, 3**  
**28049 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**LÓPEZ MARTÍNEZ, M<sup>a</sup> Nair;**  
**GARCÍA CARRETERO, Basilio Javier;**  
**BRAÑA DE CAL, Alejandro y**  
**CASTAÑO PALAZÓN, José Luis**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

54 Título: **DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR**

57 Resumen:

Dispositivo semiconductor, que comprende un sustrato (40), unos contactos metalizados (30, 32), una sucesión de regiones (10) formadas por aleaciones de semiconductores altamente desajustadas en red, dispuestas una a continuación de otra y con tipos de dopados opuestos entre regiones adyacentes, y regiones bloqueadoras de portadores (20, 22) con el mismo tipo de dopado y situadas en ambos extremos de la sucesión de regiones (10). La sucesión de regiones (10) puede comprender una primera región (12) con un primer semiconductor de una aleación altamente desajustada en red con dopado de un primer tipo, una segunda región (14) con un segundo semiconductor de una aleación altamente desajustada en red con dopado de un segundo tipo opuesto al primer tipo, opcionalmente, una tercera región (16) con un tercer semiconductor de una aleación altamente desajustada en red con un dopado como el del primer tipo, así sucesivamente puede aumentar el número de regiones.

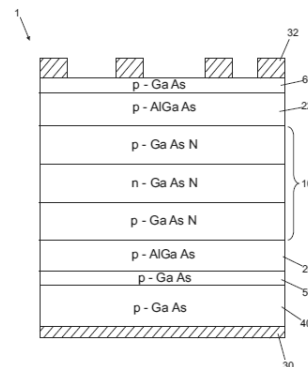


Fig. 3

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.  
 Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 810 599 B2

**DESCRIPCIÓN****DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR****5 Campo técnico de la invención**

La presente invención se relaciona con la física de estado sólido y pertenece al campo de la electrónica de semiconductores. Sus aplicaciones son diversas y cubren las telecomunicaciones (detección de señales desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, emisión de luz ultravioleta, visible o infrarroja), la medicina (sensor de temperaturas de tejidos), energía solar fotovoltaica (células solares multiunión sin necesidad de creación de uniones túnel, células solares de múltiples bandas prohibidas), dispositivos microelectrónicos (resistores variables), entre otras.

**Antecedentes de la invención**

15 Los conocimientos de la física de semiconductores han ido permitiendo la creación de nuevos dispositivos electrónicos como son los diodos semiconductores, transistores, amplificadores, tiristores, amplificadores operacionales, entre otros. La microelectrónica ha permitido un avance tecnológico y está actualmente presente en todos los aparatos electrónicos: radios, televisores, ordenadores, reproductores de audio y video, tomógrafos, teléfonos móviles, células solares, etcétera.

Dentro de la microelectrónica, los diodos actualmente están formados por un material semiconductor de una única banda prohibida (*band gap*) dopada para crear una región que contenga portadores de carga negativa (semiconductor tipo *n*, electrones) y una región dopada con portadores de carga positiva (semiconductor tipo *p*, huecos) creándose una unión *p-n* entre ambas regiones. La unión entre ambas regiones es denominada región de carga de espacio. El diodo conduce una corriente de electrones desde el lado *n* al lado *p* conocida como corriente de difusión de electrones. La diferencia de portadores entre la zona *n* y la zona *p* genera un campo eléctrico que actúa sobre los electrones libres de la zona *n* dando lugar a una fuerza de desplazamiento que es opuesta al movimiento de los electrones. Cuando sometemos al diodo a un potencial externo se produce una diferencia de potencial entre la zona *n* y *p*, pudiendo polarizar el diodo en directa o inversa. Los diodos convencionales conocidos actualmente permiten el paso de la corriente bajo condiciones de polarización directa, existiendo solamente una mínima corriente de fugas para el caso de polarización inversa.

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta de una señal de entrada. Sobre una estructura de doble diodo en contraposición de fase, es decir dos uniones bipolares ( $p-n-p$  o  $n-p-n$ ), se genera una estructura con triple conexión donde: el emisor emite portadores, el colector  
5 que los recibe o recolecta y la tercera, que está intercalada entre las dos primeras, modula el paso de dichos portadores (base). Se trata de un dispositivo activo controlado por corriente que devuelve una corriente amplificada.

El estado de la técnica referido al campo fotovoltaico, tiene como uno de sus objetivos  
10 principales, la creación de nuevos materiales fotovoltaicos que reduzcan el coste con el fin de conseguir que la energía solar sea una fuente competitiva de energía eléctrica en el mercado. Un uso eficiente del espectro solar completo, que se extiende desde cerca del infrarrojo al ultravioleta es, por tanto, uno de los retos principales para las tecnologías de conversión de energía solar, permitiendo de esta forma un mejor aprovechamiento  
15 de los fotones emitidos por el Sol con un aumento de la fotocorriente del dispositivo semiconductor.

En una primera etapa, a fin de alcanzar reducciones de costes en la fabricación de células solares fotovoltaicas (PV), los investigadores trabajaron en el diseño de células  
20 solares de alta calidad que podrían aumentar la eficiencia de las capas semiconductoras mediante la reducción de las impurezas en el material, el material utilizado en esta primera generación de células solares era el silicio. La eficiencia de conversión de una célula solar está limitada por el compromiso entre la tensión de circuito abierto y la extracción de fotocorriente de la célula. El semiconductor con el que se fabrica el  
25 dispositivo fotovoltaico convierte los fotones absorbidos en corriente eléctrica. Estos fotones absorbidos promueven los electrones de la banda de valencia (VB) a la banda de conducción (CB) creando un par electrón-hueco. Como es bien sabido, bajo condiciones de iluminación y polarización, se produce una separación de los pseudo-niveles de Fermi, formando un campo eléctrico que promueve el transporte de los  
30 portadores a los contactos del dispositivo semiconductor. El voltaje de circuito abierto será fijado por los pseudo-niveles de Fermi que están limitados por el ancho de banda del semiconductor. Sin embargo, la extracción de fotocorriente es proporcional al número de fotones que pueden ser absorbidos por el semiconductor, en cuyo caso, un ancho de banda menor se correspondería con un aumento en el espectro de absorción  
35 de fotones. El límite máximo teórico fue calculado por Shockley y Quieser que describe el comportamiento de los diodos de una única región espectral. Como consecuencia de esta limitación el máximo límite teórico de conversión para células de una única banda

prohibida es 40,7%, siendo conocidos como primera generación fotovoltaica. Esta primera generación de células solares se basa principalmente en el Si monocristalino. Con el fin de mejorar el rendimiento de los dispositivos semiconductores, se utilizaron capas de ingeniería como capas ventana, o capas de campo superficial posterior (*back surface field*, BSF), mono textura, etcétera.

La segunda generación de células solares nació con el fin de abaratar costes dentro de la energía fotovoltaica, en este sentido se propusieron dos líneas: 1) utilización de materiales menos eficientes, pero más económicos para generar películas delgadas y 2) concentradores solares. Se diseñaron células solares para trabajar bajo altas concentraciones de radiación solar. De esta forma se reduce el área de los materiales fotovoltaicos usados y se recubre la superficie frontal de la célula con concentradores solares que pueden aumentar la densidad de fotones absorbidos por la célula, aumentando la fotocorriente del dispositivo semiconductor. Los concentradores solares se basan en lentes y espejos, los cuales tienen un coste menor que el del material fotovoltaico. Disminuyen, de esta forma, el coste total del sistema además de producirse un aumento de la eficiencia de la célula como consecuencia de la alta concentración. Por otra parte, la segunda generación también se basó en materiales que permitían abaratar costes generando películas delgadas. La tecnología de película delgada se sugirió como una alternativa de bajo coste, a causa del coeficiente de absorción alto de los semiconductores empleados, por lo que necesita mucho menos material semiconductor. Algunos ejemplos son: el telururo de cadmio (CdTe), el silicio amorfo (a-Si) o el seleniuro de indio-cobre, o seleniuro de indio-galio-cobre (CIS o CIGS), y más recientemente KESTERITAS.

Ambas generaciones de células solares, primera y segunda, se basan en los semiconductores de una única región espectral (unión *p-n*), los cuales, como se ha mencionado, tienen su energía de conversión limitada por el límite de Shockley y Quiesser. Para el desarrollo de células solares altamente eficientes, que puedan romper el límite de eficiencia de los diodos de una única unión *p-n*, se ha creado la tercera generación de células solares, también conocida como células solares altamente eficientes. Esta tercera generación incluye las células solares multiunión (tándem), las células solares multibanda (MSC), los “*up- and down- converters*”, células solares basadas en nanohilos, entre otras. Las células multiunión (tándem) se caracteriza por el uso de diversos materiales semiconductores complementarios unidos por una unión túnel que permiten absorber los fotones de la radiación desde el UV hasta el IR cercano usando cada célula (o unión *p-n*) para diferentes regiones del espectro. Sin embargo, la

principal desventaja de esta tecnología es el alto coste asociado al complejo proceso de fabricación generado por las uniones túnel, las cuales son necesarias para aislar unos dispositivos (uniones  $p-n$ ) de otros.

- 5 A la vista de las limitaciones observadas en el estado de la técnica, sería deseable disponer de dispositivos electrónicos semiconductores con propiedades ventajosas en diversas aplicaciones, tales como las anteriormente mencionadas.

### **Breve descripción de la invención**

- 10 Se propone un tipo diferente de dispositivos semiconductores con múltiples uniones bipolares, formada por dos, o más, diodos en contraposición de fase. Una parte esencial de estas estructuras es, al menos, una capa formada por aleaciones de semiconductores altamente desajustadas en red ("*Highly Mismatched Alloys*" HMAs), como pueden ser a modo de ejemplo, nitruros diluidos. En estos materiales aparece una  
15 tercera banda de energía intermedia distinta de la banda de valencia y la banda de conducción que también permite el transporte de los portadores de carga.

- A su vez, otra parte esencial para el funcionamiento de estos dispositivos requiere de la existencia de una o más capas bloqueadoras que permita limitar el transporte de los  
20 portadores de carga de la banda intermedia formada por los HMAs hacia un lado, u otro, o en ambos sentidos, es decir limitar el intercambio de carga con los contactos del dispositivo semiconductor.

- Estos nuevos dispositivos semiconductores tienen, al menos, una doble región de carga  
25 espacial, estando formada por las diferentes uniones  $p-n$  del dispositivo y/o por las capas bloqueadoras. Las capas bloqueadoras son responsables de, al menos, una de las regiones de carga espacial. Esta doble región de carga espacial, junto con la banda intermedia bloqueada de los contactos, permite el funcionamiento del dispositivo semiconductor con independencia del número de capas que lo formen.

- 30 Aunque una estructura de este tipo formada por dos uniones ( $n-p-n$  ó  $p-n-p$ ) puede parecer similar a un transistor, no es un dispositivo equivalente. De hecho, estos dispositivos, aun estando formados por más de dos capas, no necesitan un contacto en cada una de ellas, sino que permiten el transporte de carga únicamente con dos  
35 contactos en la primera y en la última capa (una región metalizada superior para un primer contacto y una región metalizada inferior para un segundo contacto), lo que

redunda en una simplificación importante en su proceso de fabricación. No obstante, añadiendo terminales de contacto a alguna o algunas de sus capas intermedias se obtienen nuevos elementos de control sobre el transporte de carga en el conjunto del dispositivo.

5

La estructura parecida a la de un transistor en cuanto al apilamiento de capas  $n$  y  $p$  se refiere ha demostrado la generación de energía fotovoltaica mediante la absorción de luz, así como el transporte de carga tanto en polarización directa como inversa.

10

En línea con lo anterior, uno de los objetos de la presente invención se refiere a un nuevo dispositivo electrónico semiconductor de homo-uniones  $n-p-n$  (con distinta polaridad entre las capas) o, alternativamente,  $p-n-p$  (las homo-uniones existen cuando el material es el mismo y cambia el dopaje). El dispositivo está formado por una sucesión de regiones, una a continuación de la otra, cada una con conductividad determinada.

15

En el caso  $n-p-n$ :

- Hay una primera región con un primer semiconductor (GaAsN) dopado tipo  $n$  de una aleación altamente desajustada en red (HMA).
- Sigue una segunda región con el primer semiconductor (GaAsN) dopado tipo  $p$  de una aleación altamente desajustada en red (HMA).
- 20 - Continúa con una tercera región con el primer semiconductor (GaAsN) dopado tipo  $n$  de una aleación altamente desajustada en red (HMA).
- Las regiones anteriores son colocadas entre dos regiones bloqueadoras de portadores, una región bloqueadora superior y otra región bloqueadora inferior, ambas de un segundo semiconductor (AlGaAs) de tipo  $n$ , que bloquean el paso de portadores entre la banda de energía  $E$  formada por el HMA y los contactos del dispositivo semiconductor y que son responsables de una doble región de
- 25 carga espacial en el dispositivo por cada unión  $n-p$  y  $p-n$ .

30

Para el caso  $p-n-p$ , la secuencia anterior de regiones con una conductividad dada se modificaría al tipo de conductividad opuesta. Esto es, las zonas dopadas con impurezas  $n$  pasarían a ser dopadas con  $p$  y viceversa (las de  $p$  serían  $n$ ).

35

Otro de los objetos de la presente invención se refiere a un nuevo dispositivo electrónico semiconductor de hetero-uniones  $p-n-p$  formado por una sucesión de regiones, una a continuación de la otra (las hetero-uniones existen cuando además de cambiar el dopaje cambian los materiales, esto es, no todos los materiales empleados son el mismo).

- Hay una primera región con un primer semiconductor (AlGaAs) con dopado de tipo  $p$  de una capa bloqueadora.
- Sigue una segunda región con un segundo semiconductor (GaAsN) con dopado de tipo  $n$  de una aleación altamente desajustada en red (HMA).
- 5 - Continúa con una tercera región con el segundo semiconductor (GaAsN) con dopado de tipo  $p$  de una aleación altamente desajustada en red (HMA).
- La región anterior es cubierta con una última capa bloqueadora del primer semiconductor (AlGaAs) de tipo  $p$ , que bloquea el paso de portadores entre la banda de energía  $E$  formada por el HMA y los contactos del dispositivo
- 10 semiconductor. Al igual que la primera capa bloqueadora son responsables de una doble región de carga espacial en el dispositivo por cada unión  $p-n$  y  $n-p$ .

### **Breve descripción de las figuras**

Para un mejor entendimiento de la invención, tanto en lo que respecta a su estructura  
15 como a su funcionamiento y sus ventajas, se explican con ayuda de ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La FIG. 1 ilustra un diagrama de las bandas de energía en condiciones de equilibrio para un ejemplo de dispositivo con homo-uniones  $p-n-p$  según la invención.

20 La FIG. 2A ilustra la estructura de capas de un diodo del estado de la técnica. La FIG. 2B ilustra la estructura de capas de un transistor del estado de la técnica. La FIG. 2C ilustra un ejemplo de dispositivo según la invención para 3 capas y 2 uniones. La FIG. 2D ilustra un ejemplo de dispositivo según la invención para un mayor número de capas  
25 y uniones.

La FIG. 3 ilustra una estructura esquemática de las capas de un ejemplo de dispositivo con homo-uniones  $p-n-p$  según la invención, presentando las capas de semiconductores HMA (GaAsN) colocadas entre capas bloqueadoras (AlGaAs).

30 La FIG. 4 ilustra la estructura de bandas calculada a partir del modelo de las bandas sin cruce (*band anticrossing* BAC) de una aleación altamente desajustada (HMA) con nitruros diluidos junto con las posibles transiciones ópticas.

35 La FIG. 5 ilustra un diagrama de bandas bajo condiciones de polarización para un ejemplo de dispositivo según la invención.

La FIG. 6 ilustra la curva característica de resultados experimentales de corriente-tensión (I-V) bajo condiciones de iluminación y oscuridad para un ejemplo de dispositivo según la invención.

5

La FIG. 7A ilustra una posible estructura de un dispositivo con hetero-uniones  $p-n-p$  según la invención. La FIG. 7B ilustra una posible estructura un dispositivo con homo-uniones  $n-p-n$  según la invención.

## 10 **Descripción detallada de la invención**

Con referencia a las figuras anteriores, se describen varias realizaciones del dispositivo objeto de la invención.

En una realización del dispositivo, éste cuenta con una estructura de doble unión bipolar  
15  $p-n-p$  o bien  $n-p-n$ , con una doble región de carga espacial por cada una de las uniones. No obstante, en otras realizaciones del dispositivo, éste puede tener mayor número de capas  $p$  y  $n$  intercaladas formando mayor número de uniones  $p-n$ .

Se emplean en las realizaciones aleaciones de semiconductores altamente  
20 desajustadas en red (HMA). Los HMAs son una clase de materiales creados a partir de semiconductores muy diferentes. Generalmente, se forman al diluir nitruros (óxidos) en el que los átomos de la columna V(VI) en un grupo estándar de los compuestos III-V(II-VI) se sustituyen parcialmente con nitrógeno (oxígeno).

Una de las características más destacadas de estos materiales HMA es una  
25 modificación masiva de la estructura de bandas de energía producida por pequeños cambios en la composición de la aleación. La estructura de la banda está bien descrita mediante el modelo de las bandas sin cruce ("*band anticrossing*" o BAC) que se genera por la interacción entre el nivel del elemento diluido y de la banda de conducción del  
30 semiconductor que recibe el nitrógeno (oxígeno) diluido. Dicho modelo ha demostrado que algunos de los nitruros diluidos u óxidos exhiben una estructura inusual de bandas de energía conteniendo una banda estrecha dentro de la banda prohibida del material anfitrión.

La FIG. 1 muestra un diagrama de bandas de un ejemplo de dispositivo según una  
35 realización. Se observan 4 regiones de carga espacial, dos por cada unión  $p-n$  o  $n-p$ .



Esta doble región de carga espacial generada en cada unión  $p-n$  o  $n-p$  junto con la banda de energía generada a partir de los HMA permite el transporte de portadores tanto en condiciones de polarización directa como inversa además de producir generación de energía fotovoltaica mediante la absorción de luz.

5

Las FIG. 2A y 2B muestran respectivamente la estructura de capas de un diodo y un transistor de acuerdo al estado de la técnica. La FIG. 2C muestra un ejemplo de dispositivo según la presente invención para 3 capas y 2 uniones. La FIG. 2D muestra un ejemplo de dispositivo según la presente invención para un número mayor de capas y uniones (x capas y x-1 uniones), con dos regiones de carga espacial.

10

En la FIG. 3 aparece una estructura esquemática simple de las capas del semiconductor HMA (GaAsN), una sucesión de regiones altamente desajustadas en red 10, de un ejemplo de dispositivo semiconductor 1 con homo-uniones  $p-n-p$  según la invención, donde las regiones altamente desajustadas en red 10 están colocadas entre dos regiones bloqueadoras de portadores, región bloqueadora inferior 20 y región bloqueadora superior 22, de un semiconductor (AlGaAs). En la figura también aparecen un sustrato 40 (o región de sustrato) sobre la que se dispone una región buffer (50), los contactos metalizados del dispositivo semiconductor (contacto inferior 30 y contacto superior 32) y una región protectora 60 ubicada entre la región bloqueadora superior 22 y el contacto superior 32. Todas las regiones indicadas, las cuales se explican en detalle en las realizaciones de las Figuras 7A y 7B, pueden ser capas o nanohilos.

15

20

En la FIG. 4 aparece la estructura de bandas (banda de energía intermedia  $E$  generada en la aleación, banda de valencia VB y banda de conducción CB) de una aleación GaAsN calculada a partir del modelo de las bandas sin cruce ("band anticrossing", BAC) representando además las posibles transiciones ópticas, siendo A las posibles absorciones entre la banda de valencia VB y la banda de energía  $E$ , B la transición entre la banda de energía  $E$  y la banda de conducción  $E_+$  y C las posibles transiciones entre banda de valencia VB y la banda de conducción  $E_+$ . El nivel del nitrógeno, el cuál limitará la posición de la banda de energía  $E$ , es denotado por  $E_N$ .

25

30

En la FIG. 5 se aprecia cómo, bajo condiciones de polarización, las bandas del dispositivo semiconductor son modificadas mostrando la región frontal 2, formada por una primera unión  $p-n$  y dos regiones de carga espacial, bajo polarización inversa y la otra región posterior 3, formada por una segunda unión  $n-p$  y dos regiones de carga espacial, bajo polarización directa. La región que se encuentra en polarización directa

35

permite el paso de la corriente como cualquier diodo normal, mientras que la región que se encuentra en polarización inversa también permite el paso de la corriente, gracias a la corriente túnel que se produce a través de la banda  $E$  en dicha doble región de carga espacial.

5

Cuando se aplica un voltaje de polarización directa (como se muestra en la figura 5), la caída de potencial se distribuye entre las regiones de carga espacial frontales y posteriores. En las regiones de carga espacial frontal la banda de valencia (VB) se desplaza hacia arriba e inyecta electrones de la banda de valencia (VB) a la banda  $E$  y la banda de conducción ( $E_+$ ). En las regiones de carga espacial posteriores la polarización directa desplaza la banda de conducción ( $E_+$ ) del sustrato hacia abajo e inyecta huecos en la banda de valencia (VB) y en la banda  $E$ . Como resultado, se produce una inversión en la ocupación habiendo electrones en  $E_+$  (CB), huecos en la banda de valencia (VB) y ambos portadores en la banda  $E$ .

15

Gracias tanto a estas dobles regiones de carga espacial como a las capas bloqueadoras de portadores, la corriente puede pasar de una de las uniones a la otra unión sin que llegue a producirse el fenómeno de ruptura y dando lugar a un comportamiento simétrico respecto al paso de la corriente del dispositivo. Esta propiedad del paso de la corriente a través de las dos uniones con polaridad invertida es la que permite generar un dispositivo de estructura  $p-n-p$  (o  $n-p-n$ ) permitiendo la generación de fotocorriente a partir de la absorción de luz como ocurre en los dispositivos de dos uniones (células solares), pero teniendo un número superior de capas y uniones  $p-n$ .

25

El primer material conocido con una estructura de tres bandas separadas que permiten absorber y convertir en electricidad fotones de tres regiones espectrales diferentes es el GaAsN. Sin embargo, ha sido usado en diodos multibanda, es decir, solamente en una unión  $p-n$ .

30

La aleación altamente desajustada en red (HMA), sea un elemento terciario o cuaternario (se demuestra con nitruros diluidos en GaAs para formar el terciario GaAsN), debe estar colocada entre dos capas bloqueadoras dopadas tipo  $p$  o  $n$ , dependiendo si la estructura es  $p-n-p$  o  $n-p-n$  respectivamente. Las capas bloqueadoras han sido generadas de tal manera que prohíben el paso de portadores entre la banda de energía intermedia  $E$  generada en la aleación y los contactos del dispositivo semiconductor 1.

35

El material semiconductor utilizado para las capas bloqueadoras en los ejemplos mostrados en las figuras es el AlGaAs, si bien se pueden emplear otros como el GaP o

el GaAsIn. Tanto la estructura  $p-n-p$ , como las capas bloqueadoras no necesitan ser fuertemente dopadas. De la misma forma, la anchura de las distintas capas puede variar.

- 5 En función de las concentraciones del elemento diluido, las bandas de energía  $E_c$  y  $E_v$  se separarán más o menos respecto la banda de valencia. De esta forma, se puede modular la región espectral donde el dispositivo semiconductor 1 es efectivo.

10 La FIG. 6 muestra las curvas características de resultados experimentales de corriente-tensión (I-V) bajo condiciones de iluminación (curva 4) y bajo condiciones de oscuridad (curva 5) para un ejemplo de dispositivo semiconductor 1 según la invención. Este resultado experimental es la demostración de la generación de fotocorriente mediante la absorción de luz para un dispositivo de 3 uniones-4 capas  $n-p-n-p$ .

- 15 Los detalles correspondientes a diferentes posibles realizaciones se explican con la ayuda de las FIGS. 7A y 7B. Para mayor claridad, se escoge la estructura más sencilla con 3 capas y 2 uniones. No obstante, es ampliable a un mayor número de capas (e.g. 4 o más capas) y de uniones (e.g. 3 o más uniones).

- 20 La FIG. 7A presenta una "hetero-unión" de  $p\text{-AlGaAs}/n\text{-GaAsN}/p\text{-GaAsN}/p\text{-AlGaAs}$  ( $p-n-p$ ). La FIG. 7B presenta una "homo-unión"  $n\text{-AlGaAs}/n\text{-GaAsN}/p\text{-GaAsN}/n\text{-GaAsN}/n\text{-AlGaAs}$  ( $n-p-n$ ).

25 Con estos dos ejemplos, se quiere probar que un dispositivo según la presente invención puede fabricarse ventajosamente de diversas maneras. Una, utilizando el mismo material para sus capas simplemente variando el dopaje. Otra, utilizando una misma capa bloqueadora para realizar una hetero-unión, donde no solamente se varíen los dopajes sino también el material utilizado (y que permita reducir el número de capas totales del dispositivo).

30

Para ilustrar el primer caso, el de un dispositivo semiconductor con hetero-uniones  $p-n-p$ , se hace referencia a la FIG. 7A. Un posible método de fabricación sería el siguiente:

- 35 - Una capa buffer 50: Mediante crecimiento epitaxial de haces moleculares (MBE) o de haces químicos (CBE), se crece sobre un sustrato 40 de GaAs tipo  $p$ , una capa buffer 50 de GaAs tipo  $p$  que permite acomodar el crecimiento con un espesor de 0,04  $\mu\text{m}$ . Esta capa buffer 50 actúa también como capa de campo superficial posterior

("back surface field") a efectos de reducir la velocidad de recombinación superficial posterior. A continuación, se crece el resto de estructura del dispositivo empezando por:

- Una capa bloqueadora inferior 20: La capa bloqueadora inferior 20 tiene un espesor de  $0,05 \mu\text{m}$  de AlGaAs tipo  $p$ , está dopada con carbono con una concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Esta capa bloqueadora inferior 20 dificulta el flujo de portadores entre la banda  $E$  y el contacto inferior 30 del dispositivo (capa metalizada inferior).

- Una primera capa de una aleación altamente desajustada en red 12: Esta primera capa 12 tiene un espesor de  $0,5 \mu\text{m}$  de GaAsN, dopada tipo  $n$  con estaño con una concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . El elemento diluido en este caso es el nitrógeno con una concentración de 3% para producir el efecto "band anticrossing" (bandas sin cruce), apareciendo dos bandas formadas y separadas entre sí por encima de la banda de valencia. De esta manera se forma la primera heterounión  $p-n$  de  $p\text{-AlGaAs}/n\text{-GaAsN}$ .

- Una segunda capa de una aleación altamente desajustada en red 14: Esta segunda capa 14 tiene un espesor de  $0,06 \mu\text{m}$  de GaAsN, dopada tipo  $p$  con carbono con una concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . La concentración de nitrógeno diluido es idéntica a la capa anterior, siendo de un 3%. La diferencia entre estas dos capas radica en el tipo de dopaje para poder crear una homo-unión  $n-p$ .

- Una capa bloqueadora superior 22: La capa bloqueadora superior 22 se crece encima de la estructura  $p-n-p$  del HMA, siendo de tipo  $p$  de  $\text{Al}_{0,45}\text{Ga}_{0,55}\text{As}$ , dopada con carbono con una concentración de  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  y un espesor de  $0,03 \mu\text{m}$ . Esta capa bloqueadora superior 22 evita el paso de portadores entre la banda  $E$  y el contacto superior 32 del dispositivo semiconductor 1 (capa metalizada superior) y además pasiva el emisor frontal.

- Una capa protectora 60: Se crece una capa de  $5 \text{ nm}$  de espesor de GaAs tipo  $p$  con idéntica concentración a la capa bloqueadora superior 22 con el fin de evitar la oxidación de la capa bloqueadora superior 22 de AlGaAs.

- Contactos metalizados: Para terminar el dispositivo semiconductor 1, mediante el uso de técnicas convencionales de fotolitografía y un ataque químico controlado, se realiza la metalización del contacto superior 32. Nuevamente mediante el uso de técnicas fotolitográficas, se aíslan los dispositivos semiconductores unos de otros mediante la realización de mesas. Finalmente, se deposita metal en la parte inferior (o posterior) del dispositivo semiconductor para formar el contacto inferior 30. En el caso del contacto inferior 30 se deposita una capa continua metálica sin necesidad de dejar

ventanas para la entrada de luz. En el caso del contacto superior 32, se deposita una capa discontinua metálica para dejar unas ventanas 34 que permiten la entrada de luz.

De forma análoga, con referencia a la FIG. 7B, se explica un posible método de  
5 fabricación de un dispositivo semiconductor con homo-uniones *n-p-n*:

- Una capa buffer 50: Mediante crecimiento epitaxial, aplicando técnicas de epitaxia de haces moleculares (MBE) o de haces químicos (CBE), se crece sobre un substrato 40 de GaAs tipo *n*, una capa buffer 50 de GaAs tipo *n* que permite acomodar el crecimiento con un espesor de 0,04  $\mu\text{m}$ . La capa buffer 50 actúa también como capa  
10 de campo superficial posterior ("back surface field") a efectos de reducir la velocidad de recombinación superficial posterior. A continuación, se crece la estructura del dispositivo empezando por:

- Una capa bloqueadora inferior 20: Una capa de 0,05  $\mu\text{m}$  de espesor de AlGaAs tipo *n*, dopada con estaño, Sn, con un concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Esta  
15 capa es una capa bloqueadora de portadores ("blocking layer") entre la banda *E* y el contacto inferior 30 del dispositivo semiconductor.

- Una primera capa de una aleación altamente desajustada en red 12: La capa tiene 0,06  $\mu\text{m}$  de espesor de GaAsN, dopada tipo *n* con estaño, con una concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . El elemento diluido utilizado es el nitrógeno con una  
20 concentración de 3% para producir el efecto "band anticrossing" apareciendo dos bandas formadas y separadas entre sí por encima de la banda de valencia.

- Una segunda capa de una aleación altamente desajustada en red 14: La capa tiene 0.5  $\mu\text{m}$  de espesor de GaAsN, dopada tipo *p* con carbono con una concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . La concentración de nitrógeno diluido es idéntica a la primera  
25 capa 12, la diferencia entre estas dos capas es el tipo de dopaje para poder crear una primera homo-unión *n-p*.

- Una tercera capa de una aleación altamente desajustada en red 16: Nuevamente, se crece una capa de 0,06  $\mu\text{m}$  de espesor de GaAsN dopada tipo *n* con estaño, con una concentración de impurezas de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . La concentración de  
30 nitrógeno diluido es también igual que las dos capas anteriores (12, 14), siendo en este caso nuevamente tipo *n* con el fin de crecer la segunda homo-unión *p-n* y dando lugar a la homo-estructura *n-p-n*.

- Una capa bloqueadora superior 22: La nueva capa bloqueadora de portadores se crece encima de la estructura *n-p-n* del HMA, siendo de tipo *n* de  $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ ,  
35 dopada con estaño, con una concentración de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  y un espesor de 0,03  $\mu\text{m}$ . Esta

capa bloqueadora evita el paso de portadores entre la banda  $E$  y el contacto superior 32 del dispositivo semiconductor 1, además de pasivar el emisor frontal.

- Una capa protectora 60: Se crece una capa de 5 nm de espesor de GaAs tipo  $n$  con idéntica concentración a la capa anterior con el fin de evitar la oxidación de la capa bloqueadora superior 22 de AlGaAs.

- Contactos metalizados: Para terminar el dispositivo semiconductor 1, mediante el uso de técnicas convencionales de fotolitografía y un ataque químico controlado, se realiza la metalización del contacto superior 32. Nuevamente mediante el uso de técnicas fotolitográficas, se aíslan los dispositivos semiconductores unos de otros mediante la realización de mesas. Finalmente, se deposita metal en la parte inferior (o posterior) del dispositivo semiconductor para formar el contacto inferior 30. En el caso del contacto inferior 30 se deposita una capa continua metálica sin necesidad de dejar ventanas para la entrada de luz. En el caso del contacto superior 32, se deposita una capa discontinua metálica para dejar unas ventanas 34 que permiten la entrada de luz.

El nuevo dispositivo tiene múltiples aplicaciones: es capaz de detectar radiación, emitir radiación en diferentes regiones espectrales, además puede ser utilizado como una célula solar multiunión sin necesidad de tener uniones túnel entre las distintas células que componen la célula solar multiunión. Generando de esta forma un gran avance en la tecnología de las células solares multiunión, al eliminar el elemento tecnológico más complejo en dicho tipo de células solares. Además, como se muestra en la FIG. 6, el nuevo dispositivo semiconductor 1 tiene efecto fotovoltaico pudiendo ser utilizado como célula solar "multi-estructura". En este sentido cuando un fotón es absorbido, provoca una transición electrónica desde la banda de valencia a las bandas  $E$  y  $E_+$ , así como desde la banda  $E$  a la banda  $E_+$ . Estos pares electrón-hueco generados son extraídos del dispositivo en modo de fotocorriente. Adicionalmente, añadiendo terminales de contacto a alguna o algunas de sus capas intermedias se obtienen nuevos elementos de control sobre el transporte de carga en el conjunto del dispositivo.

El dispositivo semiconductor 1 según la invención (independiente del número de capas) también puede ser utilizado como fotodetector en modo corriente o voltaje.

Añadir más capas semiconductoras adicionales permite dedicar ciertas capas a reducir la velocidad de recombinación superficial o, si están altamente dopadas, pueden mejorar la calidad de los contactos metálicos.

Finalmente, cabe mencionar que no resulta fundamental para el funcionamiento del dispositivo semiconductor 1 que las estructuras tengan la forma de capas. Al contrario, pueden utilizarse otro tipo de estructuras como nanohilos, tanto de columna como núcleo-rodeado (*core-shell*). Solamente es necesario que exista una región con un tipo de conductividad, a continuación otra con la contraria, seguida nuevamente de otra  
5 de conductividad, a continuación otra con la contraria, seguida nuevamente de otra región con el primer tipo de conductividad (esta secuencia de regiones consecutivas puede ampliarse con más). Así se presenta una región  $p$ , otra  $n$  y nuevamente otra  $p$  de material semiconductor, o alternativamente una región  $n$ , otra  $p$  y nuevamente otra  $n$  de material semiconductor. También es preciso que dichas regiones tengan un material  
10 altamente desajustado en red (HMA) y que se coloquen entre regiones bloqueadoras de portadores con dopaje tipo  $p$ , en caso de que la estructura sea  $p-n-p$  o tipo  $n$  en caso de que la estructura sea  $n-p-n$ .

El dispositivo electrónico descrito puede ser utilizado en diferentes aplicaciones  
15 industriales como fotodetector, emisor de múltiples colores y célula solar. El dispositivo de 4 capas y 3 uniones puede ser utilizado como un tiristor sin necesidad de generar un contacto de disparo, permitiendo permutar entre sus estados de conducción por acción de la luz. Así como el dispositivo de 3 capas y 2 uniones puede ser utilizado como un transistor con efecto fotovoltaico.

20 Como fotodetector puede usarse para detectar radiación infrarroja, tanto en la región del infrarrojo de alta longitud de onda (1–30  $\mu\text{m}$ ) como en la región correspondiente al infrarrojo lejano (más de 30  $\mu\text{m}$ ) dependiendo de la concentración de nitrógeno diluido en el semiconductor hospedador. Esta capacidad para detectar luz infrarroja les confiere  
25 utilidad para fabricar analizadores de gas y moléculas, detectores de llama y cámaras térmicas.

Puede emitir en tres longitudes de onda diferentes dependiendo de la concentración de nitrógeno diluido introducido en el semiconductor hospedador. Puede ser industrializado  
30 como un emisor con múltiples longitudes de onda ampliando el número de longitudes de onda en las que es capaz de actuar si se presenta una concentración de nitrógeno diferente entre las dos uniones  $p-n$  que componen el dispositivo semiconductor 1. En este sentido, el dispositivo semiconductor 1 según la invención puede ser polarizado en directa o inversa emitiendo, al menos, en tres longitudes de onda diferentes que pueden  
35 comprender desde luz visible a luz infrarroja.

Para el campo fotovoltaico, su aplicación está directamente relacionada con su forma de funcionamiento, así como con las células solares multi-unión o (tándems). El dispositivo ha demostrado su respuesta fotovoltaica, generando fotocorriente mediante la absorción de luz. Con respecto a las células tándem, actualmente estas células están  
5 formadas por diferentes semiconductores (uniones  $p-n$  desconectadas entre sí, formando una unión túnel fuertemente dopada). Así consiguen el aislamiento entre las diferentes células que forman el dispositivo fotovoltaico. En cambio, los dispositivos semiconductores 1 propuestos en la presente invención permiten la formación de células multiunión, sin necesidad de que estén desconectadas mediante la formación de una  
10 unión túnel entre ambas. Este hecho simplifica de esta forma notoria la fabricación de los mismos. Otra ventaja industrial está ligada al abaratamiento de costes. Se reduce la complejidad de fabricación de los dispositivos permitiendo múltiples regiones de absorción y disminuyendo el número de uniones y de capas que son necesarias crecer en las actuales células tándem.

15



**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo semiconductor, que comprende un sustrato (40) y unos contactos metalizados (30, 32), donde el dispositivo semiconductor (1) comprende adicionalmente:
- 5 una sucesión de regiones (10) formadas por aleaciones de semiconductores altamente desajustadas en red, dispuestas una a continuación de otra y con tipos de dopados opuestos entre regiones adyacentes de dicha sucesión de regiones (10); y regiones bloqueadoras de portadores (20, 22) con el mismo tipo de dopado y situadas en ambos extremos de la sucesión de regiones (10);
- 10 donde la sucesión de regiones (10) comprende:
- una primera región (12) con un primer semiconductor de una aleación altamente desajustada en red con dopado de un primer tipo;
- una segunda región (14) con un segundo semiconductor de una aleación altamente desajustada en red con dopado de un segundo tipo opuesto al primer tipo;
- 15 caracterizado por que la sucesión de regiones (10) comprende:
- una tercera región (16) con un tercer semiconductor de una aleación altamente desajustada en red con un dopado como el del primer tipo;
- donde la sucesión de regiones (10) comprende una o más regiones adicionales, con dopados opuestos entre regiones adyacentes, y donde cada región adicional está
- 20 formada por un semiconductor de una aleación altamente desajustada en red.
2. Dispositivo semiconductor según la reivindicación 1, caracterizado por que el dopado de primer tipo es  $n$  y el dopado de segundo tipo es  $p$ .
- 25 3. Dispositivo semiconductor según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que el dopado de primer tipo es  $p$  y el dopado de segundo tipo es  $n$ .
4. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las regiones bloqueadoras de portadores comprenden una región
- 30 bloqueadora superior (22) y una región bloqueadora inferior (20) que encierran la sucesión de regiones (10), donde ambas regiones bloqueadoras (20, 22) son de un cuarto semiconductor.
5. Dispositivo semiconductor según la reivindicación 4, caracterizado por que el
- 35 semiconductor de las regiones bloqueadoras (20, 22) pertenece a los grupos III-V o II-VI con un banda prohibida de mayor energía que los semiconductores altamente desajustados en red de la sucesión de regiones (10).

6. Dispositivo semiconductor según la reivindicación 5, caracterizado por que el semiconductor de las regiones bloqueadoras (20, 22) es cualquiera de los siguientes: AlGaAs, GaP, GaAsIn, InGaP, ZnO, ZnTe, ZnSe.

5

7. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las aleaciones de semiconductores altamente desajustadas en red que forman cada región (12, 14, 16) de la sucesión de regiones (10) se seleccionan de entre las siguientes: GaAsN, GaAsNP, GaInNAs, ZnOTe, ZnOSe, ZnSTe, ZnSeTe.

10

8. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una región buffer (50), ubicada entre el sustrato (40) y una de las regiones bloqueadoras de portadores, y configurada para actuar como capa de campo superficial posterior con efecto de reducir la velocidad de recombinación superficial posterior.

15

9. Dispositivo semiconductor según la reivindicación 8, caracterizado por que la región buffer (50) está formada por un semiconductor con el mismo tipo de dopado que el sustrato (40) y la región bloqueadora de portadores adyacente, donde el semiconductor se selecciona de entre los siguientes: GaAs, GaP, ZnO.

20

10. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que está comprendido entre contactos metalizados: un contacto superior (32) formado por una capa discontinua metálica que deja pasar la luz y un contacto inferior (30).

25

11. Dispositivo semiconductor según la reivindicación 10, caracterizado por que comprende una región protectora (60) dispuesta entre el contacto superior (32) y una de las regiones bloqueadoras de portadores (22) con el fin de evitar la oxidación de dicha región bloqueadora de portadores.

30

12. Dispositivo semiconductor según la reivindicación 11, caracterizado por que la región protectora (60) está formada por GaAs y la región bloqueadora de portadores adyacente (22) está formada por AlGaAs.

35

13. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el sustrato (40) está formado por un semiconductor seleccionado de entre los siguientes: GaAs, GaP, ZnO.

5 14. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las regiones del dispositivo semiconductor (1) son capas.

15. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que las regiones del dispositivo semiconductor (1) son nanohilos.

10

16. Dispositivo semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende al menos un terminal de contacto en al menos una capa intermedia para controlar el transporte de carga en el conjunto de dispositivo.

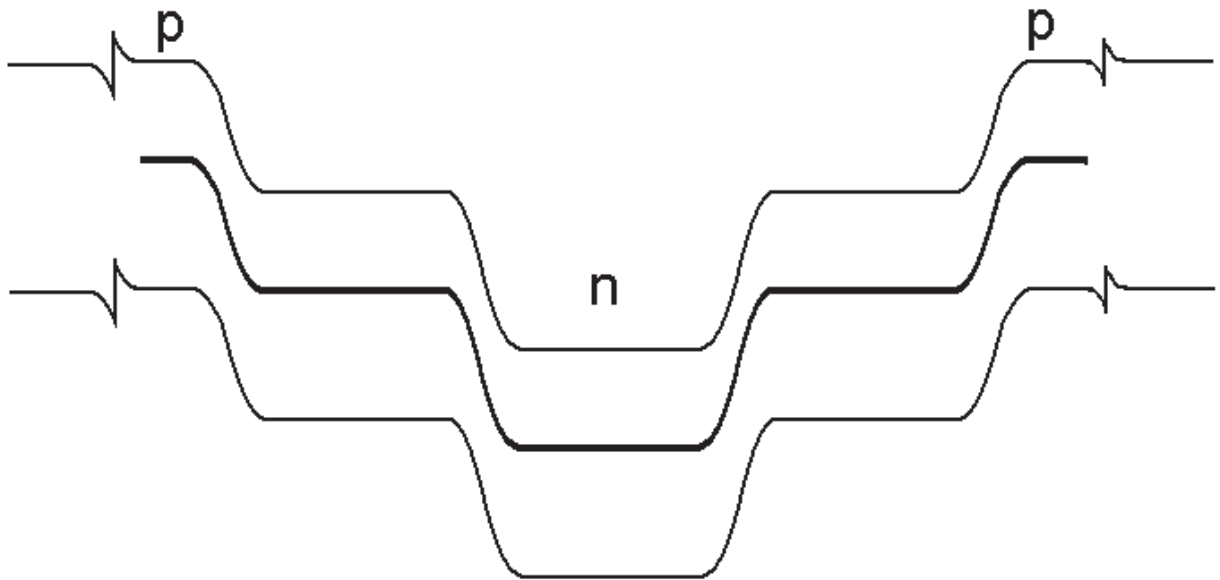


Fig. 1

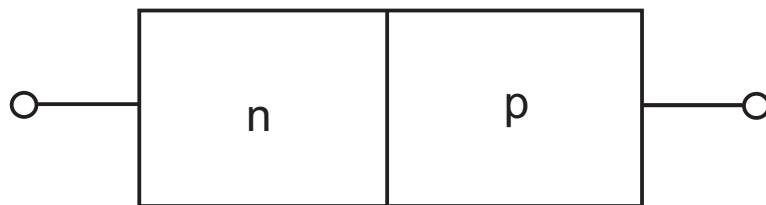


Fig. 2A

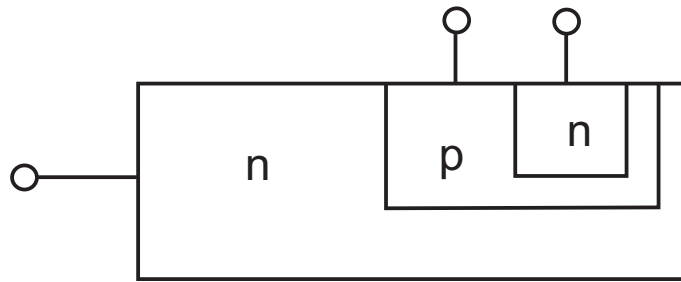


Fig. 2B

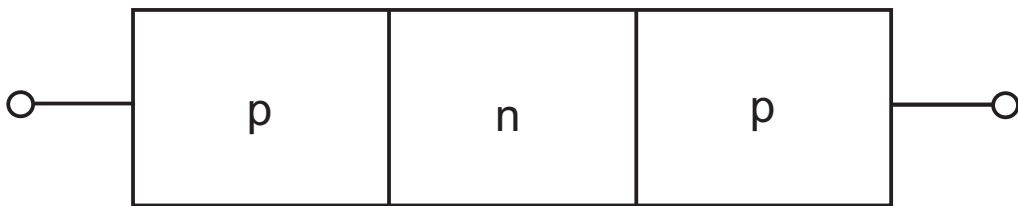


Fig. 2C

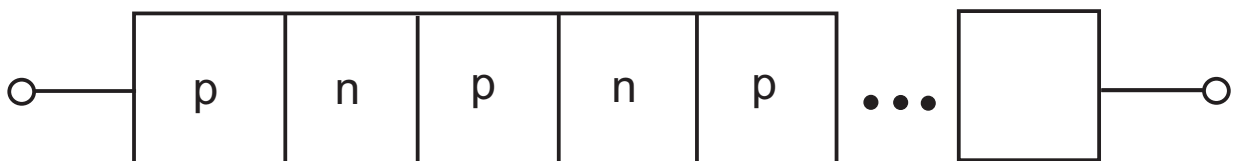


Fig. 2D

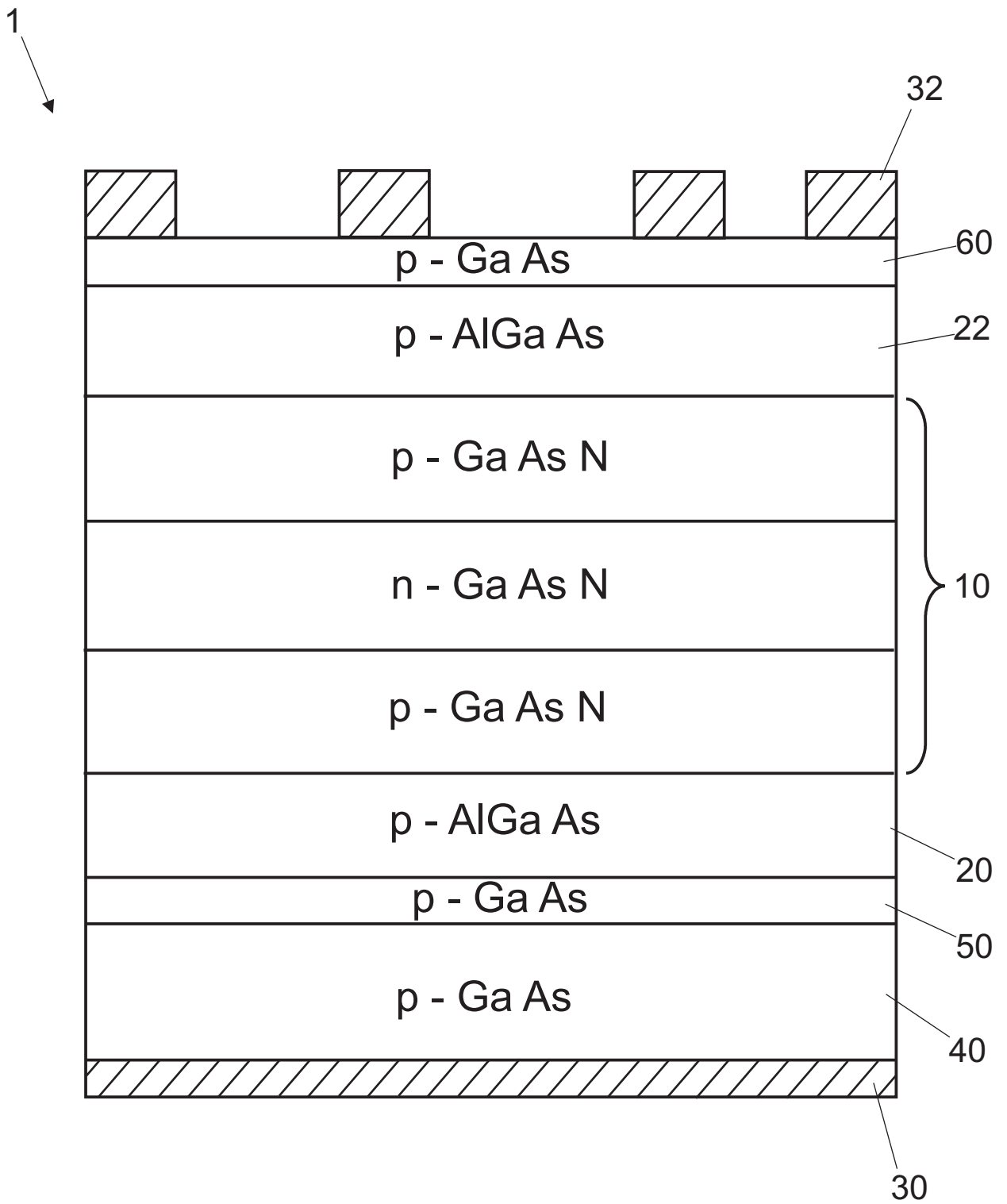


Fig. 3

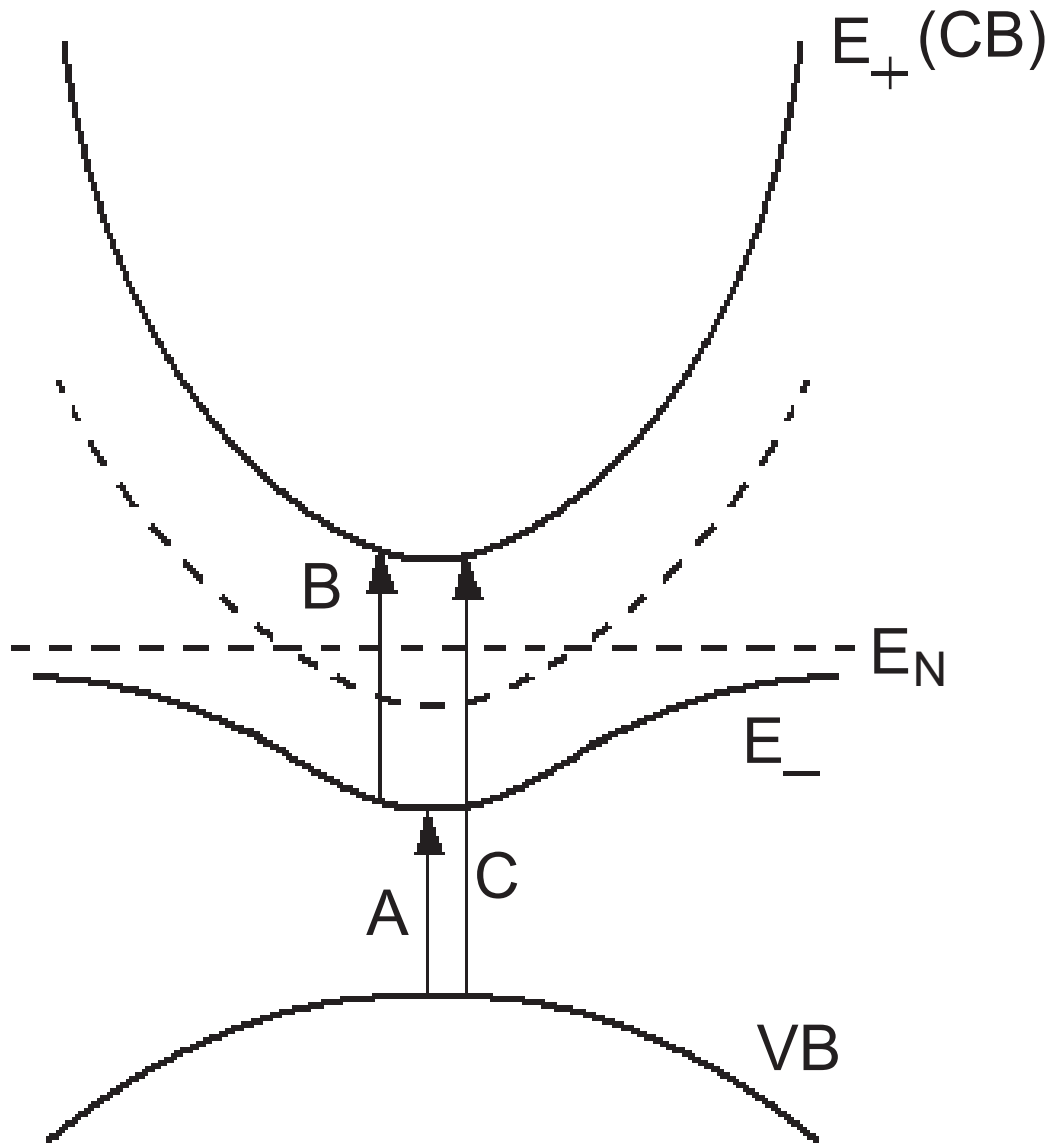


Fig. 4

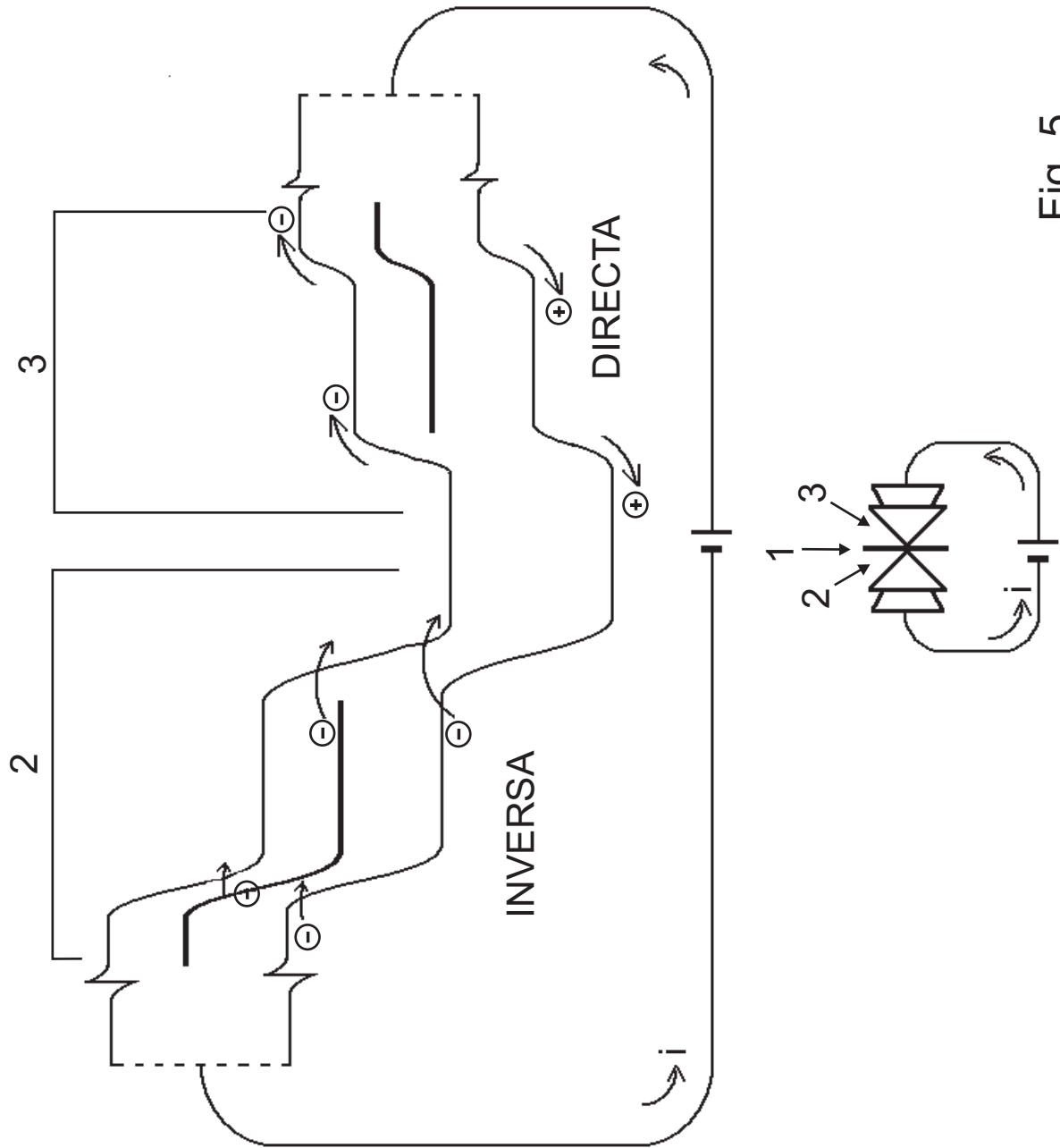


Fig. 5



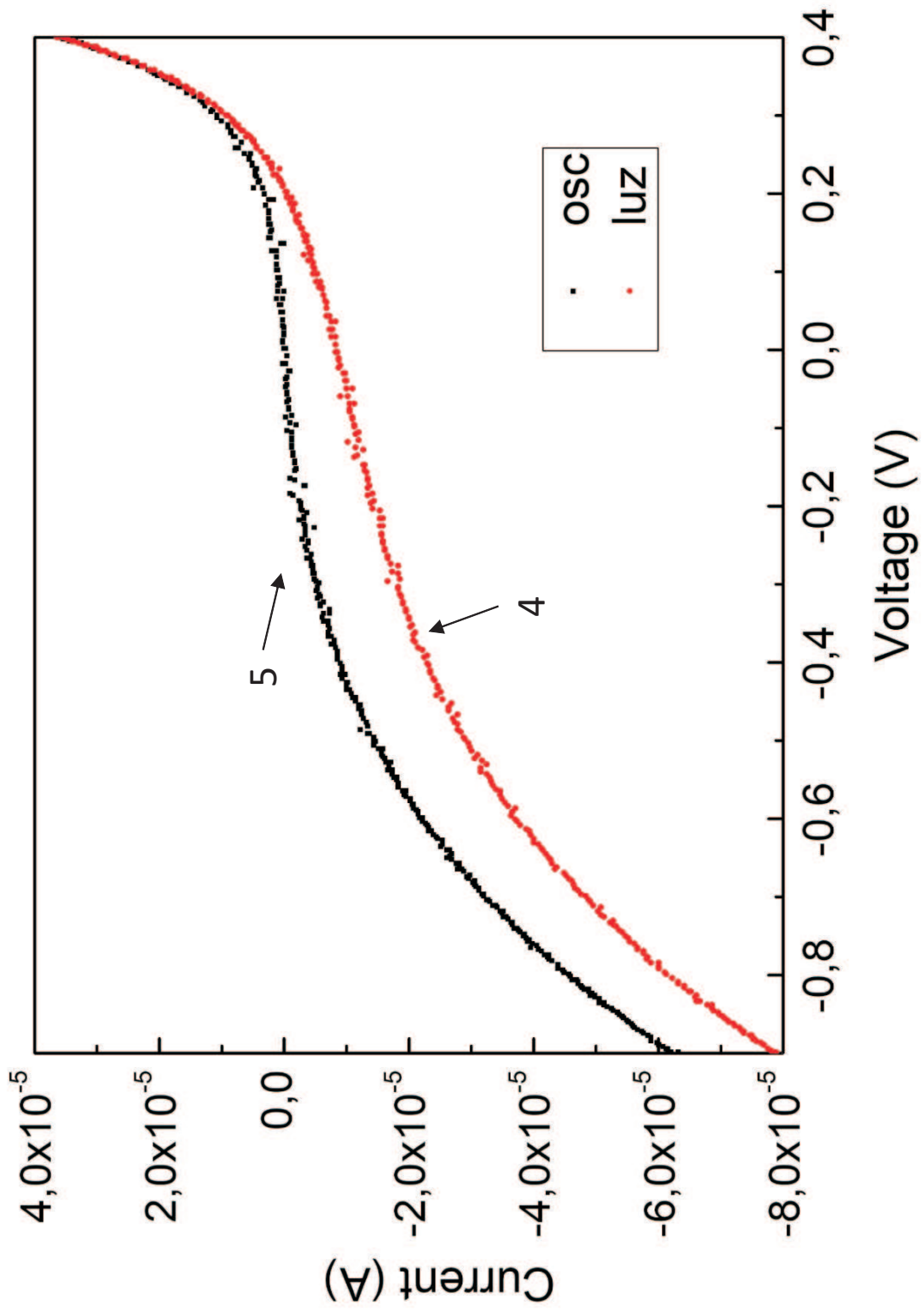


Fig. 6

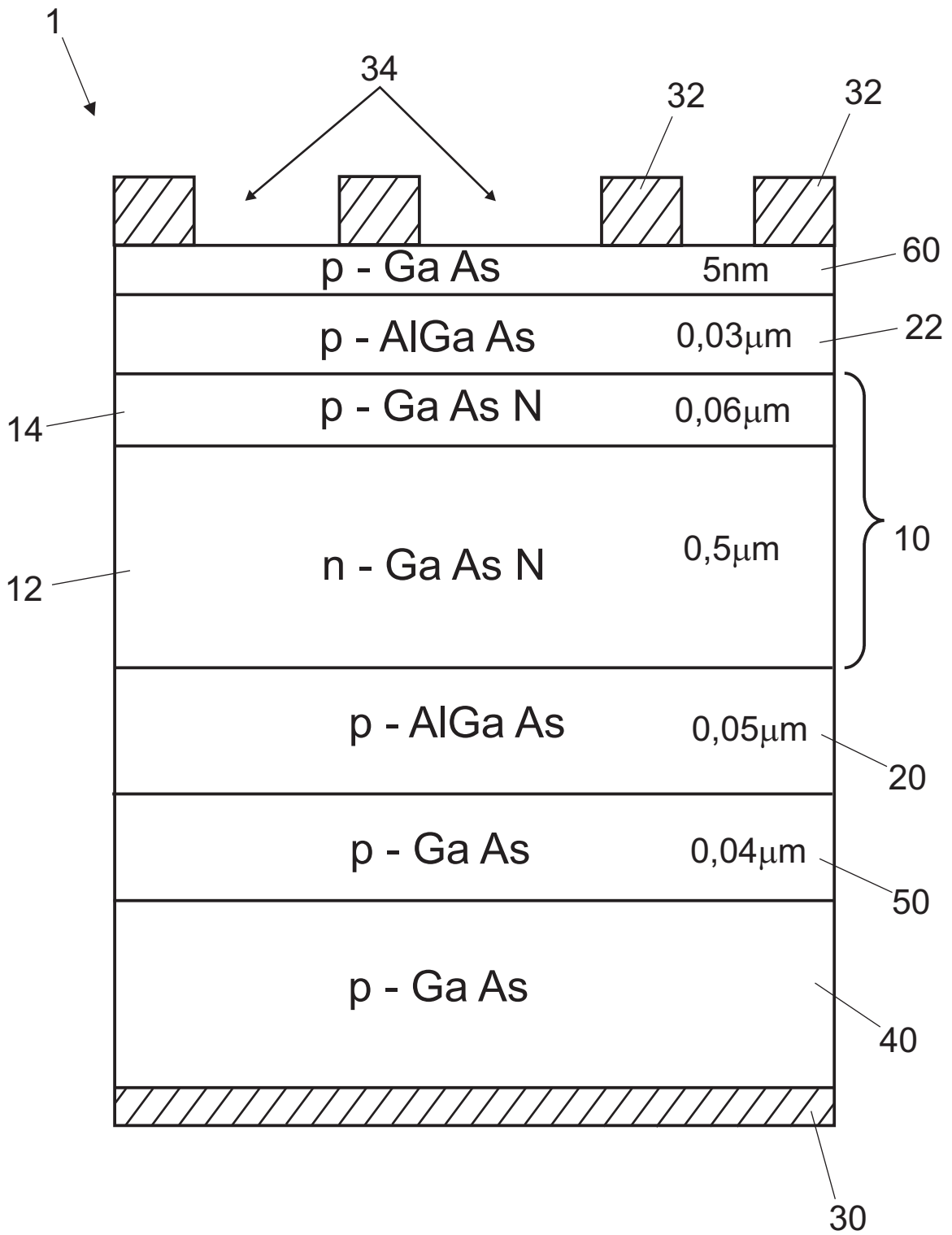


Fig. 7A

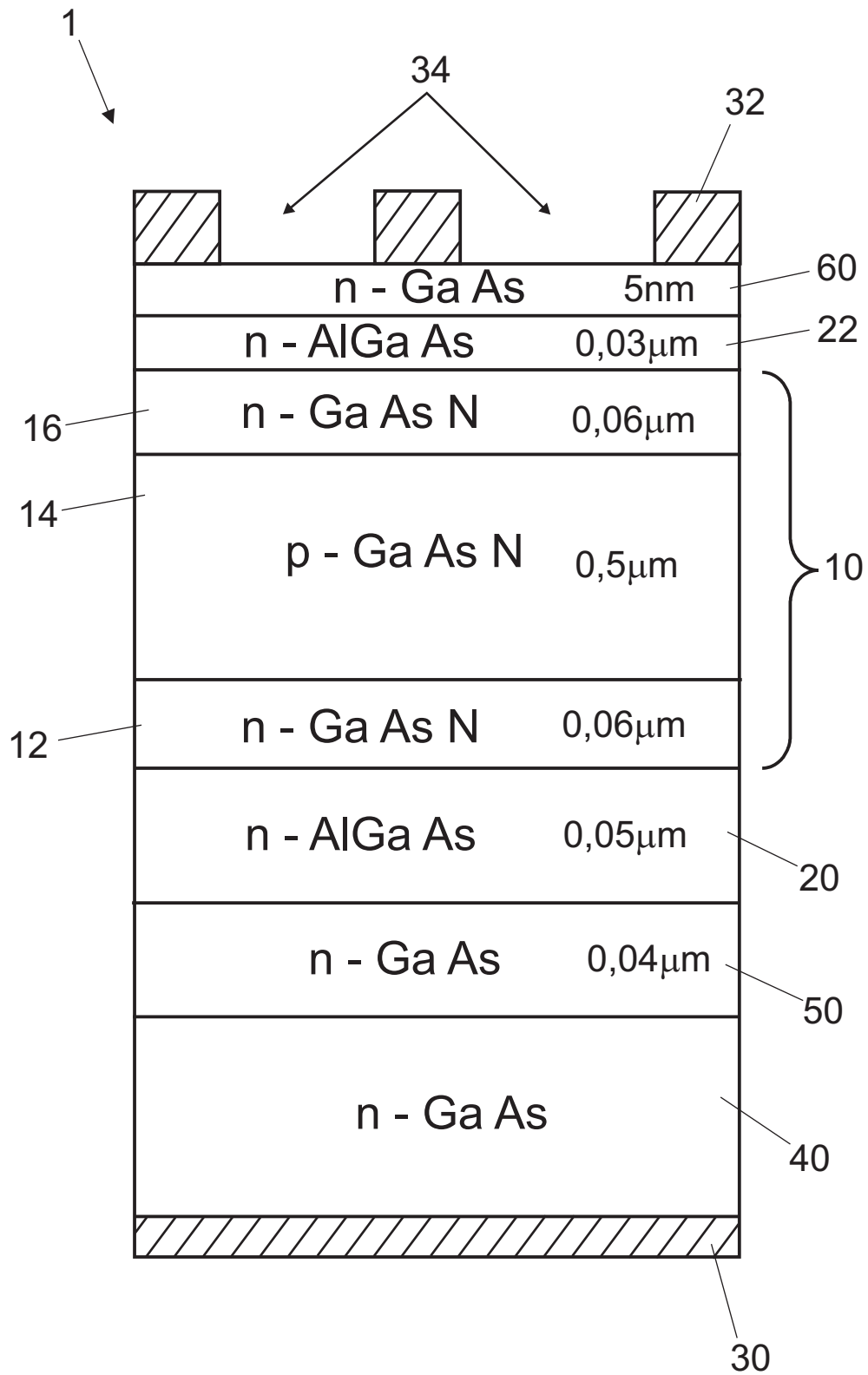


Fig. 7B