



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 258**

51 Int. Cl.:
H01L 31/0352 (2006.01)
H01L 31/0304 (2006.01)
H01L 33/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07817971 .0**
96 Fecha de presentación : **23.11.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2095428**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.09.2009**

54 Título: **Dispositivo óptico.**

30 Prioridad: **06.12.2006 US 868826 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.06.2011

73 Titular/es: **SUNFLAKE A/S**
Universitetsparken 5
2100 København Ø, DK

72 Inventor/es: **Aagesen, Martin**

74 Agente: **Zea Checa, Bernabé**

ES 2 360 258 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

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un dispositivo óptico y a un procedimiento para fabricar el mismo; además, la invención se refiere a un dispositivo fotovoltaico, un detector de radiación y un dispositivo emisor de luz.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

10 Hace tiempo que la energía solar largo se considera un potencial candidato de fuente de energía para participar en la sustitución de combustibles fósiles como fuente de energía principal. Sin embargo, hasta la actualidad, la amplia aplicación de la energía solar se ha visto dificultada por la eficacia algo limitada de las células solares o células fotovoltaicas, típicamente no superior a un 20%, combinado con un elevado coste de producción relativo. Por lo tanto, actualmente las células solares se utilizan principalmente allí donde la energía generada convencionalmente no se encuentra disponible o donde el coste de llevar la energía convencional al lugar coincide más con el coste de producción de las células solares.

15 Las células fotovoltaicas actuales emplean a menudo finas capas de material semiconductor, por ejemplo silicio cristalino, arseniuro de galio, o similares, que incorporan una unión-np para convertir la energía foto-inducida en corriente continua. Aunque la eficiencia de las células fotovoltaicas aumenta, generalmente se cree que las propiedades físicas de estos dispositivos limitará la eficacia a aproximadamente un 30%.

20 Ajustar de manera precisa los tipos de células fotovoltaicas actuales resulta costoso en términos de costes de desarrollo y, además, dado que se cree que la eficacia máxima que puede obtenerse es limitada, una mejora directa de la tecnología actual no parece ser la estrategia apropiada para proporcionar una célula solar adecuada para un uso amplio como alternativa a combustibles fósiles u otras fuentes de energía convencionales. Como alternativa prometedora, se han propuesto soluciones relativas a células fotovoltaicas basadas en estructuras semiconductoras de tamaño microscópico o nanoscópico como elemento activo.

25 La patente americana 7.087.833 describe un dispositivo fotovoltaico que incluye nanoestructuras semiconductoras formando parte de por lo menos una capa fotoactiva. Se dispone una primera y una segunda población de nanoestructuras que están realizadas de distintos materiales, las dos poblaciones de nanoestructuras presentan un perfil de energías de desplazamiento de banda tipo II, unas respecto a otras.

Existe en la técnica la necesidad de dispositivos fotovoltaicos mejorados, y en general existe la necesidad de dispositivos ópticos mejorados, y en particular resultarían ventajosos dispositivos que presentasen una elevada relación eficacia-coste.

30 El documento WO03/028118 describe un dispositivo óptico que incluye algunas monoestructuras.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

35 La presente invención pretende proporcionar un dispositivo óptico mejorado, y puede verse como un objetivo de la invención proporcionar nuevo dispositivo óptico que incorpore estructuras semiconductoras de tamaño microscópico o nanoscópico en el elemento activo, o como éste, y en particular dichos dispositivos con una elevada relación eficacia-coste.

Otro objetivo de la presente invención es presentar una alternativa a la técnica anterior.

Así, el objetivo descrito anteriormente y varios otros objetivos están destinados a obtenerse en un primer aspecto de la invención con un dispositivo óptico tal como se define en la reivindicación 1. Otras realizaciones ventajosas se definen en las reivindicaciones dependientes.

40 El primer y el segundo electrodo pueden realizarse de cualquier material conductor eléctrico apropiado capaz de proporcionar una conexión eléctrica desde el exterior al elemento activo.

45 La transparencia del primer o el segundo electrodo puede oscilar entre un 50% y un 100%, tal como de un 75% a un 90%. En principio, cuanto más elevada sea la transparencia mejor, ya que es óptimo maximizar la intensidad de la radiación entrante. La primera gama de longitudes de onda puede ser en un intervalo de luz ultravioleta a luz infrarroja, tal como un intervalo de aproximadamente 200 nm hasta aproximadamente 3,5 μM . La primera gama de longitudes de onda puede abarcar todo el intervalo o puede estar adaptada para abarcar uno o más sub-intervalos determinados. La primera gama también puede configurarse para bloquear la radiación en uno o más intervalos específicos. Los intervalos específicos proporcionados pueden ajustarse a la aplicación específica del dispositivo, o pueden establecerse por medio de una elección de diseño específica, incluyendo la elección de un material específico.

50 El funcionamiento del elemento activo es por lo menos separar pares de electrón-hueco creados en un procedimiento de interacciones entre la estructura semiconductor y la radiación recibida, tal como un proceso foto-inducido. En una realización alternativa del elemento activo, se inyectan pares de electrón-hueco en la estructura semiconductor donde se recombinan dando lugar a la creación de radiación que se transfiere fuera del elemento activo.

- 5 Por lo menos una pluralidad de estructuras semiconductoras presentan una forma geométrica específica, la pluralidad de las estructuras semiconductoras presenta forma general de placa, las estructuras pueden ser en forma de escama con una forma general en punta. En general se hace referencia a una forma o configuración de placa como estructura que es más ancha que gruesa, mientras que se hace referencia a una forma de escama como tipo específico de placa que presenta una forma general en punta. En general, puede haber presente también subpoblaciones de estructuras semiconductoras de formas alternativas. Dependiendo de las condiciones de crecimiento específicas pueden coexistir una serie de poblaciones de formas alternativas. Asimismo también dentro de un tipo específico de población, pueden estar presentes distribuciones de formas y tamaños. En realizaciones puede haber sólo una parte de las estructuras semiconductoras que presenten una forma general de placa. En tal realización, una estructura interna presenta típicamente forma general de placa, y zonas que han crecido desde la estructura en forma de placa interior.
- 10 La altura de las estructuras semiconductoras puede oscilar entre pocos nanómetros (nm) y algunos micrómetros (μm), típicamente de 1 a 25 μm . Las anchuras en la mitad inferior de las estructuras semiconductoras pueden oscilar entre 100 nm y 2 μm , y el grosor puede oscilar entre 5 nm y 500 nm, típicamente de 25 a 100 nm, tal como de 30 a 80 nm.
- 15 En la mitad inferior de la estructura semiconductor, o por lo menos de la parte de la estructura semiconductor, la anchura es substancialmente mayor que el grosor. En general, la relación anchura-grosor puede ser entre 1,5 y 500 o incluso más, por ejemplo entre 3 y 250, tal como entre 5 y 100 por ejemplo entre 10 y 75, por ejemplo entre 25 y 50. La relación específica entre la anchura y el grosor puede depender de las condiciones de crecimiento específicas aplicadas. Típicamente, se obtiene una distribución de la relación entre la anchura y el grosor, para dicha distribución el centro de la distribución puede ser tal que para la relación entre la anchura y el grosor de la parte central de la distribución, la anchura sea substancialmente mayor que el grosor.
- 20 La estructura semiconductor puede denominarse generalmente como nanoestructura que presenta por lo menos una zona o dimensión característica en el intervalo de nm, aquí por lo menos el grosor de la estructura semiconductor, o por lo menos una parte de la estructura semiconductor, puede estar en el intervalo de nanómetros.
- 25 La invención resulta particularmente, aunque no exclusivamente, ventajosa para proporcionar un dispositivo óptico con una elevada eficacia. Se cree que la elevada eficacia está relacionada con la geometría de la estructura semiconductor. La dimensión de las estructuras semiconductoras da lugar a una alta probabilidad de que pares de electrón-hueco creados no se recombinen en las proximidades de la creación, en su lugar están separados en los electrodos.
- 30 Proporcionando un dispositivo de acuerdo con la invención, solamente se requiere una pequeña cantidad de material costoso. Por otra parte, debido a la forma geométrica global de las estructuras semiconductoras, la mayor parte de la radiación recibida es absorbida por una estructura semiconductor, y no es reflejada por la superficie, por lo que puede evitarse un revestimiento antireflectante en el elemento activo. En realizaciones, puede disponerse todavía un revestimiento antireflectante en la superficie del electrodo de acoplamiento, es decir, en la superficie del primer o el segundo electrodo o ambos electrodos.
- 35 El primer electrodo puede ser de un sustrato sobre el cual crezcan estructuras semiconductoras o por lo menos sobresalgan del mismo. El primer electrodo puede ser un sustrato semiconductor del grupo V/III, un sustrato semiconductor del grupo VI/II, un sustrato semiconductor del grupo IV o un sustrato de una aleación de los mismos. En realizaciones específicas el primer electrodo puede ser un sustrato de GaAs o silicio.
- 40 El primer electrodo puede ser un conductor transparente, tal como un óxido conductor transparente (TCO), por ejemplo de óxido de indio y estaño (ITO), un óxido dopado tal como SnO_2 : F, ZnO: B, ZnO: Al, etc. El primer electrodo puede ser también de un material de polímero conductor. El primer electrodo puede ser también un aislante en contacto con un electrodo conductor o semiconductor, por ejemplo un sustrato de vidrio recubierto con una capa metálica o un sustrato de vidrio recubierto con un material semiconductor.
- 45 El primer electrodo puede ser una estructura de capas, tal como una estructura que presente una primera capa y por lo menos una segunda capa.
- 50 La estructura semiconductor puede ser substancialmente cristalina, tal como substancialmente monocristalina o policristalina. En general, resulta ventajoso disponer estructuras semiconductoras que sean substancialmente cristalinas por lo menos sobre una escala de longitud de la estructura. Al proporcionar una estructura substancialmente cristalina solamente pueden estar presentes pocos o ningún centro de recombinación. De este modo puede obtenerse una mayor eficacia.
- 55 La estructura semiconductor puede ser, o por lo menos incluir, de un semiconductor del grupo V/III, un semiconductor del grupo VI/II o un semiconductor del grupo IV o de cualquier combinación o aleación de dichos materiales. En realizaciones específicas, la estructura semiconductor puede ser, o por lo menos incluir InAs, Si, CdSe, CdTe, InP, CdS, ZnS, ZnO, ZnSe, PbSe, PbS, ZnTe, HgTe, GaN, GaP, GaAs, GaSb, InSb, Ge, AlAs, AlSb o PbTe, o cualquier compuesto de dichos materiales, incluyendo compuestos ternarios o cuaternarios, pero sin limitarse a éstos.
- La estructura semiconductor puede tener una absorbancia en el intervalo visual o en el intervalo infrarrojo, o ambos, de por lo menos un 70%, tal como por lo menos un 80%, tal como por lo menos un 90%, tal como por lo menos un

95%, tal como por lo menos un 98%.

5 El elemento activo comprende una unión-np. Las estructuras semiconductoras individuales puede proporcionar la unión-np, formando estructuras semiconductoras que comprendan una región-n que tenga una conductividad n y una región-p que tenga una conductividad p, de modo que la superficie de contacto entre las regiones esté formando una unión-np. Dichas regiones pueden disponerse de diversas maneras.

En una realización se disponen estructuras semiconductoras de una primera conductividad, la estructura semiconductor se encuentra entonces en conexión con el crecimiento o bien después del crecimiento dopado con un material que proporciona una segunda conductividad distinta.

10 En una realización, se disponen estructuras semiconductoras conductividad n o de conductividad p y sobre las cuales se dispone un material semiconductor de conductividad o de conductividad p, de modo que la estructura semiconductor hace contacto con una región que tiene una conductividad n o una conductividad p, formando de este modo una unión-np en la superficie de contacto.

15 En una realización, se disponen estructuras semiconductoras de conductividad n o de conductividad p y sobre las cuales se dispone un material semiconductor de la misma conductividad, y sobre éste se dispone un material semiconductor de distinta conductividad, de modo que la estructura semiconductor comprenda o soporte una región que tenga conductividad n y una región que tenga una conductividad p, formando de este modo una unión-np en la superficie de contacto.

20 Pueden disponerse estructuras semiconductoras que comprendan múltiples regiones-n que tengan conductividad n y múltiples regiones-p que tengan conductividad p, de modo que se formen múltiples uniones-np. Puede proporcionarse una mayor eficacia y/o tensión formando múltiples uniones np.

25 La estructura semiconductor puede tener un primer entramado constante y el primer electrodo puede tener un segundo entramado constante o ningún entramado constante, es decir, no ser en absoluto cristalino, siendo el primer y el segundo entramado constante distintos, es decir, existe un desajuste de entramados entre la estructura semiconductor y el sustrato sobre el cual crece. Por ejemplo, para una estructura InAs, el entramado constante de 6,1 Å es distinto que para un sustrato GaAs con un entramado constante de 5,7 Å. En otro ejemplo, el entramado de las estructuras semiconductoras no coincide con el sustrato, dado que el sustrato no tiene entramado, es decir, no es cristalino, por ejemplo un sustrato de vidrio. Es una ventaja poder disponer estructuras semiconductoras que no coincidan en el entramado con el sustrato sobre el cual crecen ya que se proporciona una gran flexibilidad en el tipo de sustrato que puede utilizarse. Por ejemplo, puede utilizarse un sustrato económico, por ejemplo un sustrato de silicio, por ejemplo un sustrato de vidrio, un sustrato de polímero, u otros sustratos estándar. El entramado de la estructura semiconductor en la superficie de contacto al sustrato puede adaptarse a la propia superficie del sustrato.

35 La estructura semiconductor puede presentar una banda prohibida en un intervalo apropiado para una aplicación específica. En realizaciones la estructura semiconductor puede presentar una banda prohibida en el intervalo de 0,25 eV a 2 eV. El tamaño específico de la banda prohibida puede ajustarse mediante el tamaño eficaz de la estructura semiconductor. Por ejemplo, seleccionando o proporcionando un tamaño apropiado de una región de la estructura semiconductor, tal como una región de tipo n o una región de tipo p de un tamaño apropiado, la banda de energía de la estructura puede desplazarse respecto a bandas de energía de una estructura masiva del mismo material. Ajustando adecuadamente el tamaño apropiado de la estructura semiconductor, puede proporcionarse de este modo una banda prohibida específica.

40 El segundo electrodo puede ser un electrodo superior. El segundo electrodo puede ser de un material conductor transparente, tal como un TCO. También puede utilizarse un polímero conductor transparente. El segundo electrodo puede ser también un aislante en contacto con un electrodo conductor o semiconductor, tal como un electrodo de vidrio recubierto con una capa metálica o una capa semiconductor, de un material de polímero conductor, un polímero aislante recubierto con un conductor, etc.

El segundo electrodo puede ser un sustrato en capas que presente una primera capa y por lo menos una segunda capa.

50 El elemento activo puede comprender un elemento de relleno que sea por lo menos parcialmente transparente en un segundo intervalo de longitudes de onda. Las propiedades ópticas del segundo intervalo de longitudes de onda pueden seleccionarse dentro del intervalo según se especifique para el primer intervalo de longitudes de onda. El material de relleno puede ser vidrio, monóxido de silicio, dióxido de silicio, un polímero, o cualquier otro material apropiado. Típicamente, el material de relleno es un aislante eléctrico.

55 En una realización ventajosa, el material de relleno puede ser un polímero a base de SU-8. El nombre químico del SU-8 es glicidil éter de bisfenol A. El SU-8 puede ser un material de relleno adecuado ya que tiene una elevada resistencia química, es compatible con técnicas de microfabricación convencionales, y es relativamente fácil y rápido de procesar.

En un segundo aspecto de la invención, se dispone un procedimiento para fabricar un dispositivo óptico tal como se define en la reivindicación 14. Otras realizaciones ventajosas se definen en las reivindicaciones dependientes.

La pluralidad de estructuras semiconductoras puede ser un elemento activo o puede formar parte del mismo.

5 El procedimiento puede llevarse a cabo en combinación con epitaxia de haces moleculares (MBE) o a cualquier otro procedimiento capaz de crecer micro o nanoestructuras en un sustrato. Por ejemplo, en relación con la epitaxia de fase de vapor organometálico (MOPVE), epitaxia de haces químicos (CBE), o procedimientos de crecimiento de una nanoestructura similares.

Pueden llevarse a cabo etapas adicionales tales como una etapa de depositar un material de relleno sobre las estructuras semiconductoras, una etapa de disponer un segundo electrodo, de modo que la pluralidad de estructuras semiconductoras puedan disponerse entre el segundo electrodo y en contacto con el mismo.

10 Una primera región de las estructuras semiconductoras puede ir provista de una primera región de un primer tipo de conductividad de tipo p o bien de tipo n y donde por lo menos una segunda región de las estructuras semiconductoras esté provista de una segunda sección de una segunda conductividad de tipo p o bien de tipo n, formando la primera y la segunda región una unión-np.

15 Una primera región de las estructuras semiconductoras puede disponerse depositando un primer material durante un procedimiento de crecimiento y donde el segundo material se dispone depositando un segundo material durante el procedimiento de crecimiento.

Las estructuras semiconductoras pueden crecer con un primer tipo de conductividad y en una etapa posterior dopadas con un material de modo que se forme una región dopada, siendo la región dopada de un segundo tipo de conductividad.

El dopado puede realizarse a través de una etapa de recubrimiento y opcionalmente una etapa de calentamiento.

20 El dopado puede realizarse inyectando dopantes en las estructuras semiconductoras, por ejemplo, por medio de bombardeo iónico.

Las estructuras semiconductoras pueden crecer con un primer tipo de conductividad y en una etapa posterior recubrirse con un material de un segundo tipo de conductividad. La superficie de contacto entre las estructuras semiconductoras y el recubrimiento se realiza formando la unión-np.

25 Los aspectos individuales de la presente invención pueden combinarse cada uno con cualquier otro aspecto. Éstos y otros aspectos de la invención serán claros a partir de la siguiente descripción con referencia a las realizaciones descritas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Se describirán realizaciones de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los cuales

30 La figura 1 ilustra a realización esquemática de una célula fotovoltaica;

La figura 2 es una imagen de SEM que muestra una pluralidad de escamas según se aprecia desde una vista inclinada;

La figura 3 es una imagen de SEM que muestra algunas escamas según se aprecia desde una vista superior;

La figura 4 es una imagen de SEM que muestra una sola escama junto con orientaciones geométricas específicas;

La figura 5 es una imagen de SEM que muestra una vista lateral de una escama;

35 La figura 6 es una imagen de TEM de una sección superior de una escama junto con una imagen de TEM de cerca de una sección de la escama;

La figura 7 es una ilustración esquemática del crecimiento del crecimiento de la escama;

Las figuras 8A a 8C ilustran imágenes de SEM inclinadas de escamas que crecen en condiciones de crecimiento variables.

40 Las figuras 9 a 13 son ilustraciones esquemáticas de la realización de las escamas que tienen una unión-np;

La figura 14 ilustra una imagen de SEM de escamas incrustadas en un relleno SU-8; y

La figura 15 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento general para fabricar un dispositivo óptico.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

45 La figura 1 ilustra una realización esquemática de un dispositivo óptico de acuerdo con la presente invención. El dispositivo óptico ilustrado es en forma de célula fotovoltaica 1. En funcionamiento, la célula fotovoltaica puede funcionar como célula solar destinada a quedar expuesta a la radiación 2, tal como la radiación solar. La radiación se transfiere a un elemento activo 3 donde se crean pares electrón-hueco dando lugar a un potencial eléctrico 9 que

puede aprovecharse para fines eléctricos.

5 El dispositivo óptico 1 comprende un primer electrodo o sustrato 4 y un segundo electrodo o electrodo superior 5. Además, el dispositivo comprende un elemento activo 3 dispuesto entre el primer y el segundo electrodo. Para transferir la radiación incidente a la estructura semiconductor activa, el primer o el segundo electrodo es por lo menos parcialmente transparente en un primer intervalo de longitudes de onda. Típicamente solamente uno del primer o segundo electrodo es transparente, no obstante ambos pueden ser transparentes.

10 Por otra parte, el elemento activo puede comprender un elemento de relleno 8 dispuesto en las regiones entre las estructuras semiconductoras para proporcionar un elemento activo sustancialmente sólido. En una realización alternativa de un detector de radiación general, las propiedades ópticas del sistema pueden proporcionarse para detectar un intervalo de longitudes de onda específicas. Un potencial eléctrico entre los dos electrodos 4, 5 puede ser indicativo de una intensidad específica de radiación entrante de características ópticas específicas o estar relacionado con la misma.

15 En otra realización alternativa, se dispone un dispositivo emisor de luz tal como un LED. En dicha realización se inyectan unos orificios en uno de los electrodos y se inyectan electrones en el otro electrodo, recombinándose el par electrón-hueco en la unión-np en un proceso de recombinación radioactivo. La radiación generada se transfiere fuera de los elementos activos.

20 El elemento activo comprende una pluralidad o un conjunto de estructuras semiconductoras 6 que se extienden en una dirección longitudinal 7 del primer electrodo y que están en contacto con el primer y el segundo electrodo. La estructura geométrica de las estructuras semiconductoras presenta típicamente una forma o configuración general de placa, sin embargo en unas realizaciones solamente una parte de la estructura semiconductor puede presentar una forma o configuración general de placa. En unas realizaciones, las escamas crecen mediante el proceso Vapor-Líquido-Sólido (VLS), este proceso también puede denominarse proceso Vapor-Sólido-Sólido (VSS) debido a la incertidumbre en el mecanismo de crecimiento específico a nivel atómico. En un proceso VLS, se depositan o de otra manera se proporcionan unos centros de nucleación en forma de partículas catalíticas, típicamente partículas metálicas, por ejemplo partículas de oro, en el sustrato antes de iniciarse el crecimiento de las estructuras semiconductoras. Dichas partículas 10 quedan colocadas en una parte superior de las estructuras semiconductoras. Las partículas catalíticas en forma de metal u otro material conductor pueden garantizar un buen contacto eléctrico entre las estructuras semiconductoras y el electrodo superior 5.

Se describe en detalle a continuación realizaciones del proceso de crecimiento.

30 Las figuras 2 a 5 muestran imágenes de SEM de escamas de InAs que han crecido por MBE sobre un sustrato GaAs. Las escamas de InAs crecen sobre la cara (100) de un sustrato GaAs. Las escamas de InAs crecieron con una relación V/III-BEP de 5,7 usando una presión de haz equivalente (BEP) de $1,6 \times 10^{-3}$ Pa ($1,2 \times 10^{-5}$ torr) para As_4 , y una BEP de $2,8 \times 10^{-4}$ Pa ($2,1 \times 10^{-6}$ torr) para In. El sustrato se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 420°C y el tiempo del crecimiento fue de 2 horas.

35 La figura 2 ilustra una imagen de SEM 20 obtenida a 30 kV con un aumento de 10.000. La barra de escala 21 indica la extensión de 1 μ m. La imagen de SEM 20 muestra una pluralidad de escamas según se aprecia en una vista inclinada. Tal como puede apreciarse en la imagen, la mayoría de las estructuras presentan una forma general de escama en punta. Sin embargo, subgrupos de estructuras presentan formas que se desvían. La forma específica viene dictada por una serie de parámetros y muchas formas pueden ser similares en energía global, de modo que puede ser imposible proporcionar una única forma a partir de consideraciones cinéticas solas. Sin embargo, de manera importante, se dispone una pluralidad de formas similares en la que la mayor parte, si no todas, presenta una forma general de placa. La forma de la parte superior de las escamas varía, sin una dirección del cristal preferida, pero los lados de la parte inferior tienden a quedar cerca de las superficies (0-11) y (01-1), tal como se describe en detalle con relación a las figuras 5 y 7.

45 La figura 3 ilustra una imagen de SEM 30 obtenida a 30 KV con un aumento de 100.000. La barra de escala indica un aumento de 100 nm. La imagen de SEM 30 muestra algunas escamas según se aprecia en una vista superior.

La figura 4 ilustra una imagen de SEM 40 de una sola escama. La escama se muestra junto con el plano (100), que es el plano del papel. También se muestra la dirección [0-11] 42 y la dirección [0-1-1] 43.

50 La figura 5 ilustra una imagen de SEM 50 de una escama 51 que ha sido eliminada por ultrasonidos y depositada sobre una superficie de óxido de silicio. La barra de escala 52 indica la extensión de 1 μ m. La escama se muestra junto con la dirección [100] 53, la dirección [111] 54 y la dirección [0-11] 55.

55 A partir de las figuras 2-5 queda claro que las estructuras semiconductoras presentan alturas 56, extendiéndose las alturas en la dirección longitudinal 7, así como anchuras 44 que se extienden a lo largo de la dirección [0-11] 45 que se extienden a lo largo de la dirección [0-1-1]. En una sección situada en la mitad inferior de la estructura semiconductor, quedando situada la posición, por ejemplo, tal como se indica en la figura 5 con el número de referencia 57, la relación entre la anchura y el grosor es de aproximadamente 1 μ m a 80 nm lo cual es 12,5. Las direcciones del cristal mostradas son para el sistema de InAs crecido de la cara (100) de GaAs. Las direcciones del cristal específicas

dependen de sistemas específicos, de modo que para diferentes estructuras semiconductoras y/o diferentes sustratos, pueden ser relevantes diferentes direcciones del cristal. Las direcciones del cristal se muestran por motivos ilustrativos para caracterizar la realización ilustrada, el alcance de la invención no queda limitado a direcciones del cristal específicas.

5 La figura 6 muestra una imagen de SEM 60 de la sección superior de una escama junto con una imagen de TEM 61 de cerca de una sección de la escama. El lugar específico de la imagen de TEM no corresponde con el indicado, el lugar específico sólo se proporciona por motivos ilustrativos. También se muestra una partícula catalítica de oro encapsulado 62. De la imagen de TEM de cerca que muestra la resolución atómica puede apreciarse que la escama de InAs es substancialmente monocristalina con no más de sólo algunos defectos puntuales, si los hay. Además, las mediciones de análisis de rayos X por energía dispersiva (EDX) en las escamas revelan una distribución de 50/50 entre In y As en las escamas. Un análisis de difracción de las escamas revela que el entramado de InAs no está forzado, por lo menos para la mayor parte de la escama.

15 La figura 7 es una ilustración esquemática del mecanismo de crecimiento de la forma de la escama tal como se entiende en el momento de presentar el presente documento para un crecimiento de la escama InAs sobre GaAs (100) en MBE con As₄ como material del grupo V y en In como material del grupo III. Debido a la compleja naturaleza del crecimiento de nanopartículas, existe cierta incertidumbre respecto al mecanismo del crecimiento. El comportamiento del crecimiento se ha deducido de una investigación de la forma de la escama en función de tiempo del crecimiento. Se espera que la escama comience con una estructura de barras que presente una sección transversal cuadrada que crezca en la dirección [100] y que presente los cuatro planos no polares {011} como caras laterales (figura 7a). A medida que continua el crecimiento se forma una pequeña plaqueta en la intersección entre la superficie del sustrato (100) y los planos del cristal {011} en la base de la barra, pero solamente en las dos direcciones terminadas en arsénico (figura 7b). Esto es probable que sea resultado de la cinética de la incorporación del arsénico en superficies A (011) y (111). Las superficies terminadas en arsénico resultantes creadas en los dos lados de las superficies del cristal de la barra son superficies de alta energía con un coeficiente de incorporación significativamente más elevado en las condiciones de crecimiento utilizadas en comparación con las superficies no polares de baja energía {011}. En consecuencia, el crecimiento de InAs se produce ahora casi solamente sobre estas superficies de alta energía, excepto para el crecimiento vapor-sólido-sólido (VSS) catalizado con Au. A medida que el crecimiento continúa, las escamas alcanzan una forma triangular con superficies que, según las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM), es más probable que sean superficies B {133} que presentan un ángulo de 76,78 respecto a las superficies del sustrato (100) (figura 7c). Con mayores tiempos de crecimiento el crecimiento InAs vapor-sólido (VS) epitaxial en las superficies B de alta energía {133} provoca que continúen hacia arriba y hacia afuera, aumentando de este modo la anchura de la escama. Se ha observado que las anchuras medias en la base de la escama se encuentran entre 350 nm y 500 nm. Estas anchuras dependen de las condiciones de crecimiento específicas. Para mayores tiempos de crecimiento la altura de la escama alcanza un punto, probablemente conectado con la duración de la difusión de la superficie del In, donde el índice de crecimiento en la parte inferior de las dos superficies B {133} empieza a aumentar. Esto tiene como resultado que las superficies B {133} cambien lentamente para convertirse en superficies no polares verticales {011}. Al mismo tiempo el crecimiento catalizado con Au en la parte superior de la escama continúa, provocando de este modo que todavía existan superficies B de alta energía en la parte superior de la placa. La forma final de la escama se obtiene tras algunas micras de crecimiento vertical, y aquí la parte superior de la escama está formada por el todavía continuo crecimiento VSS combinado con las dos superficies terminadas en arsénico que conectan la partícula eutéctica Au-In a los lados inferiores de la escama, que quedan cerca para ser las superficies no polares {1011} (figura 7d). Se ha observado que esta forma final de la escama existe para alturas de crecimiento de hasta por lo menos 15 µm para crecimientos utilizando As₂. Los tiempos de crecimiento utilizados para crecer las escamas oscilan entre 30 y 120 minutos.

45 Las figuras 8A a 8C ilustran imágenes de SEM inclinadas de escamas de InAs que han crecido por medio de MBE en la cara (100) de un sustrato GaAs en una relación V/III-BEP distinta y diferente temperatura de sustrato. La relación V/III-BEP se ha variado cambiando el BEP del As₄-bedm. Las imágenes se obtienen a 30 KV con un aumento de 10.000. La barra de escala indica la extensión de 1 µm.

50 Las escamas de InAs de la figura 8A crecieron con una relación V/III-BEP de 4,3 utilizando una presión de haz equivalente (BEP) de $4,7 \times 10^{-4}$ Pa ($3,6 \times 10^{-6}$ torr) para As₄, y un BEP de $10,7 \times 10^{-5}$ Pa ($8,3 \times 10^{-7}$ torr) para In. El sustrato se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 420°C y el tiempo de crecimiento fue de 1,5 horas.

Las escamas de InAs de la figura 8B crecieron con una relación V/III-BEP de 5,4 utilizando una presión de haz equivalente (BEP) de $5,9 \times 10^{-4}$ Pa ($4,5 \times 10^{-6}$ torr) para As₄, y un BEP de $10,8 \times 10^{-5}$ Pa ($8,4 \times 10^{-7}$ torr) para In. El sustrato se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 420°C y el tiempo de crecimiento fue de 1,5 horas.

55 Las escamas de InAs de la figura 8C crecieron con una relación V/III-BEP de 6,5 utilizando una presión de haz equivalente (BEP) de $6,9 \times 10^{-4}$ Pa ($45,3 \times 10^{-6}$ torr) para As₄, y un BEP de $10,6 \times 10^{-5}$ Pa ($8,2 \times 10^{-7}$ torr) para In. El sustrato se mantuvo a una temperatura de aproximadamente 410°C y el tiempo de crecimiento fue de 1,5 horas.

60 Las imágenes ilustran que la estructura individual de la escama así como las propiedades globales de conjunto varían con un cambio de los parámetros o las condiciones del crecimiento. En general, a temperaturas del sustrato inferiores y bajas relaciones V/III-BEP, la densidad de escamas es mayor que para temperaturas y relaciones V/III-BEP más altas. Además, también se observa un mayor grado de formas de escama ancha para temperaturas de sustrato más

bajas y relaciones V/III-BEP más bajas, que para las escamas que han crecido a temperaturas y relaciones V/III-BEP más altas.

5 Relaciones V/III-BEP adecuadas se encuentran entre 3,5 y 5,5, y temperaturas de sustrato adecuadas se encuentran entre 350° C y 450° C. Sin embargo, debe comprenderse que la invención no queda limitada a estos intervalos, puesto que también pueden encontrarse estructuras apropiadas fuera de estos intervalos.

10 Las escamas ilustradas en las figuras 2-6, 8, 14 crecieron utilizando As_4 , si bien son también posibles crecimientos utilizando As_2 . Al utilizar una haz de As_2 se vio que el grosor de las escamas aumenta con el tiempo de crecimiento respecto al crecimiento As_4 , además para la misma cantidad de Au depositado, se observa que los grosores de las escamas es mayor para las muestras que han crecido con As_2 que para las que han crecido utilizando As_4 , esto coincide con el mayor coeficiente de incorporación de As_2 en superficies {011}.

15 La figura 9 es una ilustración esquemática de una realización de una escama que tiene una unión-np 93. La unión-np se forma teniendo una estructura semiconductor que comprende una región-n que tiene una conductividad n y una región p que tiene una conductividad p, formando las regiones una unión-np. La situación de la región-n y la región-p se ilustra mediante secciones transversales. Una primera sección transversal tal como se indica mediante el número de referencia 91 y una segunda sección transversal perpendicular tal como se indica mediante según el número de referencia 92. Puede disponerse una estructura semiconductor tal como se muestra en general mediante la figura 9 de varias maneras.

20 En una realización, las diferencias en crecimiento utilizando As_4 y As_2 pueden utilizarse para crecer una escama que presente una estructura general tal como se ilustra en la figura 9. En la figura 10 se muestra una ilustración esquemática de esta realización.

25 La figura 10 ilustra una realización, donde las escamas crecen con una primera etapa de crecimiento y por lo menos una segunda etapa de crecimiento. En una primera etapa de crecimiento la estructura semiconductor interior 100 crece con una primera conductividad (por ejemplo conductividad p) utilizando As_4 . Esto tiene como resultado escamas con una anchura significativamente mayor que el grosor (aquí visto en una sección transversal correspondiente a la sección transversal indicada 91 en la figura 9). Una vez que se ha obtenido una distribución de tamaños y forma apropiados, es decir, después de un tiempo de crecimiento determinado, se continúa con más crecimiento utilizando As_2 . En la segunda etapa de crecimiento la estructura semiconductor exterior 101 crece con una segunda conductividad (por ejemplo conductividad n) utilizando As_2 . Esto tiene como resultado escamas con una envoltura de conductividad n, de modo que se obtienen uniones np 102 en el interior las escamas. Para las estructuras semiconductoras resultantes la relación entre anchura y grosor es menor que para la relación entre anchura y grosor de las estructuras internas que han crecido mediante As_4 . Sin embargo, por lo menos parte de las estructuras semiconductoras constituidas por la estructura interna (la estructura que ha crecido mediante As_4) presenta una forma general de placa donde, en una sección situada en la mitad inferior de la estructura, la anchura es substancialmente mayor que el grosor. Es decir, por lo menos la estructura interior presenta forma de escama tal como se ha descrito con relación a las imágenes de SEM.

35 En una realización, se hace crecer una estructura semiconductor de tipo p sobre la cual se deposita un material donante. El sistema puede calentarse a una temperatura de modo que el material donante migre a la zona de la envoltura o zona superficial de la estructura semiconductor de tipo p proporcionando impurezas del donante y variando el tipo de conductividad a tipo n. De esta forma se crea una unión-np. Puede utilizarse también la deposición de múltiples capas seguido de calentamiento para formar una zona o envoltura de tipo n. Por ejemplo, pueden ser utilizados múltiples capas templadas de Ge, Au y Ni para formar una zona de tipo n que cubra una escama de tipo p.

40 En una realización, el material donante puede depositarse por medio de dopado por deposición.

En una realización el material donante puede ser pulverizado a la zona de la envoltura de la estructura semiconductor. El material donante puede proporcionarse de este modo en forma de iones donantes.

45 La figura 11 es una ilustración esquemática de una realización de una escama que tiene una unión-np 110. La unión-np se forma creciendo una primera parte de la estructura semiconductor con un material de tipo p y una segunda parte de la estructura semiconductor con un material de tipo n. Esto puede conseguirse variando el material de crecimiento, por ejemplo en el MBE el material del haz puede variarse durante el crecimiento. Este proceso puede continuar formando de este modo múltiples zonas n que tengan una conductividad n y múltiples zonas p que tengan una conductividad p, para formar múltiples uniones-np.

50 En lugar de variar el material de crecimiento durante el crecimiento, la estructura semiconductor de tipo p puede crecer en una primera etapa, tras lo cual se deposita un material de tipo n sobre la estructura semiconductor, en la figura 12 se ilustra una realización esquemática. Se disponen unas estructuras separadas de materiales distintos de modo que una estructura semiconductor de conductividad p quede en contacto con una zona o revestimiento que tenga una conductividad n, de modo que la superficie de contacto entre las estructuras semiconductoras y la zona forma la unión-np 120.

55 En lugar de variar el material de crecimiento durante el crecimiento, la estructura semiconductor de tipo p puede crecer en una primera etapa, tras lo cual se deposita un material de tipo n sobre la estructura semiconductor, en la

figura 12 se ilustra una realización esquemática. Se disponen unas estructuras separadas de materiales distintos de modo que una estructura semiconductor de conductividad p quede en contacto con una zona o revestimiento que tenga una conductividad n, de modo que la superficie de contacto entre las estructuras semiconductoras y la zona forma la unión-np 120.

5 La figura 13 ilustra una realización en la cual se disponen unas estructuras semiconductoras de conductividad p y sobre las cuales se dispone un material semiconductor de la misma conductividad. Sobre la primera capa de material semiconductor de conductividad p se dispone un material semiconductor de diferente conductividad, o de conductividad n, de modo que la estructura semiconductor comprenda o soporte una zona que tenga una conductividad n y una zona que tenga una conductividad p formando una unión-np 130.

10 En una realización, la parte interior de la estructura semiconductor puede ser una escama InAs de tipo p. La primera capa puede ser una capa GaAs de tipo p y la segunda capa puede ser un GaAs de tipo-n.

15 En las realizaciones esquemáticas ilustradas en las figuras 9-13 la unión-np está formada sobre toda la estructura semiconductor. Sin embargo, parte de la estructura semiconductor puede cubrirse por un material de relleno antes de formar la unión-np, de modo que solamente se cubre una parte de la estructura semiconductor por una unión-np o soportando la misma.

Anteriormente se ha hecho referencia en las figuras a zonas específicas de conductividad n y conductividad p. Debe comprenderse que las zonas de conductividad n pueden intercambiarse con zonas de conductividad p y viceversa.

20 La figura 14 ilustra una imagen de SEM de escamas de InAs que han crecido por MBE en un sustrato de GaAs en el que las escamas quedan incrustadas en un relleno SU-8. La imagen se obtiene a 30 KV con un aumento de 10.000. La barra de escala indica la extensión de 1 μm . La imagen se obtiene en sección transversal.

25 Se utiliza un GaAs en masa como sustrato de soporte 140, y sobre el GaAs se disponen las escamas de InAs. Respecto al crecimiento se ha producido una capa delgada 141 de InAs en masa. Las escamas sobresalen en la dirección marcada 142. Las escamas quedan parcialmente incrustadas en un relleno SU-8 143, y la parte superior de las escamas sobresalen fuera del relleno 144. Las escamas que sobresalen fuera del relleno se han cubierto con una fina capa de Au. La parte de las escamas que están incrustadas por el relleno SU-8 no puede apreciarse claramente debido a la presencia del material de relleno.

El material de relleno se ha dispuesto sobre las escamas suministrando una pequeña gota de líquido SU-8 sobre el sustrato seguido del giro del sistema a 2000 rpm en 55 s. El sistema se endurece calentándolo en una plancha a 115° C en 105 s.

30 De la inspección de las imágenes de SEM no se han encontrado orificios o imperfecciones, o sólo muy pocos, del material de relleno, lo que revela una muy buena penetración del material SU-8 en los espacios entre las escamas.

Las estructuras semiconductoras tal como se muestra en las figuras crecen en un sistema de MBE. En una realización de ejemplo específica, el crecimiento se ha realizado tal como se describe a continuación.

35 Se utilizó un sistema GEN II MBE Varian de fuente sólida con una presión de base de la cámara de crecimiento en el margen inferior de 10^{-11} torr. El sistema utilizó As_4 como material del grupo V e In como material del grupo III, ambos materiales presentaban una pureza de grado MBE.

Antes de crecer las estructuras semiconductoras, se recibió del fabricante un sustrato GaAs (100) en una forma lista para un crecimiento excesivo epitaxial.

40 El sustrato se montó en un soporte y se introdujo en la cámara de carga del sistema de MBE donde fue desgasificado a 200° C durante aproximadamente 2 horas. Después, se dejó que la presión en la cámara de carga se recuperara para la gama de $1,33 \times 10^{-5}$ Pa (10^{-7} torr) y el sustrato fue transferido posteriormente a la cámara de crecimiento, a través de una cámara intermedia.

45 En la cámara de crecimiento el sustrato fue expuesto constantemente a un flujo de As_4 con una presión de haz equivalente (BEP) de aproximadamente $1,56 \times 10^{-3}$ Pa ($1,2 \times 10^{-5}$ torr). El sustrato se calentó a aproximadamente 560° C durante 10 minutos antes de depositar una fina capa de Au sobre el mismo. La deposición de Au se llevó a cabo calentando un crisol de 16 cc a 1350° C y después abriendo el obturador delante del mismo durante 150 segundos. En este proceso se depositó entre 0,5-2 nm de Au en la superficie del sustrato, la estimación de grosor es, sin embargo, algo incierta.

50 Todavía en la cámara de crecimiento y en un flujo de As_4 el sustrato se mantuvo a aproximadamente 560° C durante 10 minutos tras la deposición de Au para permitir que el Au forme partículas catalizadoras de crecimiento de tamaño de nanómetros. Tras 10 minutos la temperatura del sustrato se redujo a la temperatura de crecimiento y el crecimiento se inició abriendo el obturador In. El crecimiento tardó algunas horas después de lo cual el obturador In se cerró y la temperatura del sustrato se redujo a 200° C todavía en un flujo de As_4 .

Cuando las temperaturas del sustrato alcanzaron los 200° C el sustrato se sacó del sistema MBE.

- 5 Las temperaturas de sustrato mencionadas anteriormente se han transformado de la temperatura medida con un termopar en la posición de crecimiento del sustrato en el sistema de MBE a la que, a nuestro entender, es la temperatura del sustrato real corregida por el error del termopar. La temperatura del sustrato medida con el termopar en la cámara de crecimiento durante la deposición de Au fue de 640° C. La temperatura del sustrato medida con el termopar durante crecimiento de la escama fue de 470° C.
- La figura 15 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento general para fabricar un dispositivo óptico de acuerdo con realizaciones de la presente invención.
- 10 En una primera etapa, se proporciona un sustrato. El sustrato puede crecer, cortarse y pulirse, separarse, etc. en una etapa anterior. El sustrato puede proporcionarse en un estado final de modo que no sea necesaria una limpieza adicional, sin embargo, típicamente es necesario limpiar el sustrato 151. Por ejemplo, puede limpiarse por recocido o desgasificación, por medio de ciclos de pulverización iónica y recocido, por medio de exposición a gases específicos, por ejemplo seguido de ciclos de recocido o ciclos de pulverización iónica y recocido, por medio lavado con gases específicos, posible mientras se calienta el sustrato, por medio de ataque químico húmedo, tal como ataque químico en HF seguido de enjuague en agua limpia o alcohol y secado en un flujo de nitrógeno.
- 15 A modo de ejemplo, puede desgasificarse un sustrato de GaAs (100) en una serie de etapas a una temperatura de algunos cientos de grados, tal como 200° C en una primera presión de fondo y posteriormente a 400° C en una segunda presión de fondo típicamente inferior, durante algunas horas, tal como de 2 a 4 horas.
- Las estructuras semiconductoras pueden crecer después sobre el sustrato 122, por ejemplo por medio de crecimiento VLS.
- 20 En el mecanismo de crecimiento VLS, se depositan primero unos centros de nucleación en forma de partículas catalíticas sobre el sustrato 153. Típicamente se proporcionan partículas de Au, otras partículas catalíticas adecuadas incluyen, aunque no se limitan a éstas, Pt, Pd, Ni y Fe. Puede depositarse una cantidad correspondiente a algunos nm, tal como entre 0,1 y 5 nm. El sustrato puede calentarse, por ejemplo, durante un tiempo específico, tal como de 5 a 20 minutos, para redistribución, redimensionado o reconformado de las partículas catalíticas. También, el sustrato puede mantenerse a una temperatura elevada durante la deposición.
- 25 Típicamente, las partículas catalíticas pueden proporcionarse por deposición de vapor de las partículas, por ejemplo calentando un crisol. Medios alternativos incluyen, aunque no se limitan a éstos, deposición de partículas coloides y técnicas de litografía de nano-impresión. Tanto los coloides como la litografía de nano-impresión pueden realizarse antes de que la muestra sea transferida a la cámara de crecimiento.
- 30 El sustrato se mantiene típicamente a una temperatura específica mientras las estructuras semiconductoras crecen. Intervalos típicos de temperatura de crecimiento van de temperatura ambiente a 800° C. Por ejemplo, las estructuras semiconductoras de InAs pueden crecer exponiendo el sustrato a una haz de As₄ y un haz de In a una temperatura de sustrato de 400 a 450° C, tal como 420° C. Sin embargo, las estructuras semiconductoras de InAs también pueden crecer exponiendo el sustrato a un haz de As₂ y un haz de In, sin embargo, la temperatura del sustrato y/o la relación V/III u otros parámetros pueden ser diferentes que para una haz de As₄.
- 35 El sustrato se expone al material de crecimiento 154, típicamente en forma de haz o vapor, durante un periodo de tiempo, tal como de unos minutos a varias horas. Durante el crecimiento el sustrato se expone a flujos de materiales relevantes, el material de crecimiento puede incorporarse, por ejemplo, en un gas portador. Los tamaños específicos de los distintos flujos se regulan 155, para conseguir una relación específica de las especies incidentes. A modo de ejemplo, para un crecimiento de InAs puede establecerse una relación V/III entre 3,5 y 5,5. También los materiales específicos pueden ajustarse o variarse durante el crecimiento.
- 40 Las estructuras semiconductoras van provistas de uniones-np, esto puede conseguirse de distintas maneras. En una realización, la unión-np se forma durante el crecimiento 156 por ejemplo controlando y regulando la composición del flujo, por ejemplo introduciendo una nueva especie en un determinado instante, y posiblemente aislando otras especies determinadas. En otra realización, la unión-np se forma después de que la estructura semiconductor 157 haya crecido, por ejemplo por medio de dopaje o deposición de capas adicionales.
- 45 Puede proporcionarse un material de relleno en una etapa siguiente 158 sobre las estructuras semiconductoras, y puede disponerse un electrodo superior 159 sobre el material de relleno.
- En etapas adicionales, los electrodos pueden conectarse a circuitería electrónica, puede disponerse una carcasa, etc.
- 50 Además, pueden disponerse etapas adicionales o etapas alternativas. Por ejemplo en una realización en la que el sustrato sea aislante o poco conductor, puede depositarse una capa conductora sobre el sistema combinado de estructuras semiconductoras y sustrato. Tras la deposición puede llevarse a cabo una etapa de grabado. El grabado de la capa sobre las estructuras semiconductoras será típicamente a una velocidad mayor que el grabado de la capa depositada en sobre sustrato. De este modo, deteniendo el proceso de grabado cuando las estructuras semiconductoras han sido liberadas del material depositado todavía puede estar presente una capa del material en el sustrato, proporcionando de este modo un contacto eléctrico a las estructuras.
- 55

5

Aunque la presente invención se ha descrito con relación a las realizaciones específicas, no debe interpretarse de ningún modo limitada a los ejemplos presentados. El alcance de la presente invención debe interpretarse a la luz del conjunto de reivindicaciones que se acompañan. En el contexto de las reivindicaciones, los términos "que comprende" o "comprende" no excluyen otros posibles elementos o etapas. También, la mención de referencias tales como "uno/a" o "un" etc. no debe interpretarse como que se excluye una pluralidad. El uso de signos de referencia en las reivindicaciones respecto a los elementos indicados en las figuras tampoco será interpretado como una limitación del alcance de la invención. Además, es posible combinar las características individuales mencionadas en diferentes reivindicaciones de manera ventajosa, y la mención de estas características en diferentes reivindicaciones no excluye que una combinación de características sea posible y ventajosa.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo óptico (1) que comprende:
un primer electrodo (4);
un segundo electrodo (5), siendo el primer y/o el segundo electrodo (4, 5) por lo menos parcialmente transmisivos en una primera gama de longitudes de onda;
- 5 un elemento activo (3) que presenta una unión-np que se dispone entre el primer y el segundo electrodo (4, 5); comprendiendo el elemento activo (3) una pluralidad de estructuras semiconductoras (6) que crecen en una dirección longitudinal fuera de una superficie plana sobre el primer electrodo (4) y estando en contacto eléctrico con el primer y el segundo electrodo (4, 5);
caracterizado por el hecho de que:
- 10 cada estructura semiconductor (6) comprende una parte a modo de placa en la cual una anchura de la estructura en una primera dirección a través de la superficie plana es mayor que un grosor de la estructura en una segunda dirección a través de la superficie plana que es ortogonal a la primera dirección, y en el que la parte a modo de placa incluye una zona cónica en la cual la anchura de la estructura disminuye a medida que se aproxima al segundo electrodo (5).
- 15 2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la superficie plana es una cara de una superficie cristalina y la dirección longitudinal es substancialmente perpendicular a esa superficie.
3. Dispositivo según la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que la superficie cristalina es una cara (1 0 0) de un substrato cristalino, y la primera dirección es la dirección [0 -1 1] y la segunda dirección es la dirección [0 -1 -1] de ese substrato.
- 20 4. Dispositivo según la reivindicación 3, caracterizado por el hecho de que la parte cónica presenta unas superficies inclinadas que quedan orientadas substancialmente en la dirección B [1 3 3].
5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que el primer electrodo (4) y/o cada estructura semiconductor (6) es un semiconductor del grupo V/III, un semiconductor del grupo VI/II, un semiconductor del grupo IV o una aleación de los mismos.
- 25 6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el primer electrodo (4) y/o el segundo electrodo (5) es un conductor transparente.
7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el primer electrodo (4) y/o el segundo electrodo (5) comprende un substrato de capas que presenta dos o más capas.
8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que la estructura semiconductor (6) tiene una absorbancia en el intervalo infrarrojo y/o visual de por lo menos un 70%.
- 30 9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el elemento activo (3) comprende una región n que tiene una conductividad de tipo n y una región p que tiene una conductividad de tipo p, encontrándose la región n y la región p en la unión n-p, y cuando las estructuras semiconductoras (6) son una de conductividad n o conductividad p y soportan un material semiconductor de la otra conductividad para formar la unión n-p.
- 35 10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que cada estructura semiconductor (6) incluye un elemento interior de un primer material semiconductor (100), presentando el elemento interior la parte a modo de placa y la parte cónica, y un elemento de envoltura de un segundo material semiconductor (101), estando formado el elemento de envoltura sobre el elemento interior.
- 40 11. Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado por el hecho de que el primer y el segundo material semiconductor presentan diferente conductividad, de manera que las estructuras semiconductoras comprenden múltiples regiones n que tienen conductividad n y múltiples regiones p que tienen conductividad p, para formar múltiples uniones n-p.
12. Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado por el hecho de que el segundo material semiconductor (101) es un compuesto distinto del primer material semiconductor (100).
- 45 13. Celda solar, detector de radiación o emisor de luz que comprende un dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
14. Procedimiento para fabricar un dispositivo óptico, comprendiendo el procedimiento:
formar una pluralidad de centros de nucleación sobre una superficie plana en un primer electrodo;

depositar material para crecer una pluralidad de estructuras semiconductoras en los centros de nucleación en una dirección longitudinal fuera de la superficie plana en el primer electrodo; y

formar un electrodo de manera que las estructuras semiconductoras se dispongan entre el primer y el segundo electrodo y en contacto eléctrico con los mismos,

- 5 caracterizado por el hecho de que:
- el crecimiento de cada estructura semiconductor incluye:
- formar una parte a modo de placa en la que una anchura de la estructura en una primera dirección a través de la superficie plana es mayor que un grosor de la estructura en una segunda dirección a través de la superficie plana que es ortogonal a la primera dirección, y
- 10 formar una parte cónica de la parte a modo de placa en la que la anchura de la estructura disminuye a medida que se aproxima al segundo electrodo.
15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado por el hecho de que el material depositado es cristalino, y el crecimiento de cada estructura semiconductor comprende:
- 15 un proceso vapor-líquido-sólido (VLS) o vapor-sólido-sólido (VSS) catalizado en la dirección longitudinal en el centro de nucleación, y un proceso vapor-sólido (VS) epitaxial sobre un par de superficies en lados opuestos del centro de nucleación, estando cada superficie inclinada respecto a la superficie plana y extendiéndose en la primera dirección más que en la segunda dirección.
- 20 16. Procedimiento según la reivindicación 14 o 15, caracterizado por el hecho de que comprende depositar un material de relleno eléctricamente aislante sobre las estructuras semiconductoras para formar un elemento sólido activo antes de formar el segundo electrodo en el elemento activo.
- 25 17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizado por el hecho de que la deposición de material para crecer la pluralidad de estructuras semiconductoras comprende depositar un primer material semiconductor para formar un elemento interior, presentando el elemento interior la parte a modo de placa y la parte cónica, y después depositar un segundo material semiconductor para formar un elemento de carcasa, estando formado el elemento de carcasa sobre el elemento interior.
18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17, caracterizado por el hecho de que las estructuras semiconductoras son una de conductividad n o conductividad p y el procedimiento incluye depositar un material semiconductor de soporte de la otra conductividad para formar la unión n-p después de que las estructuras semiconductoras se hayan formado.
- 30 19. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18, caracterizado por el hecho de que incluye, después de que hayan crecido las estructuras semiconductoras, dopar el material depositado para formar una zona dopada en cada estructura semiconductor.

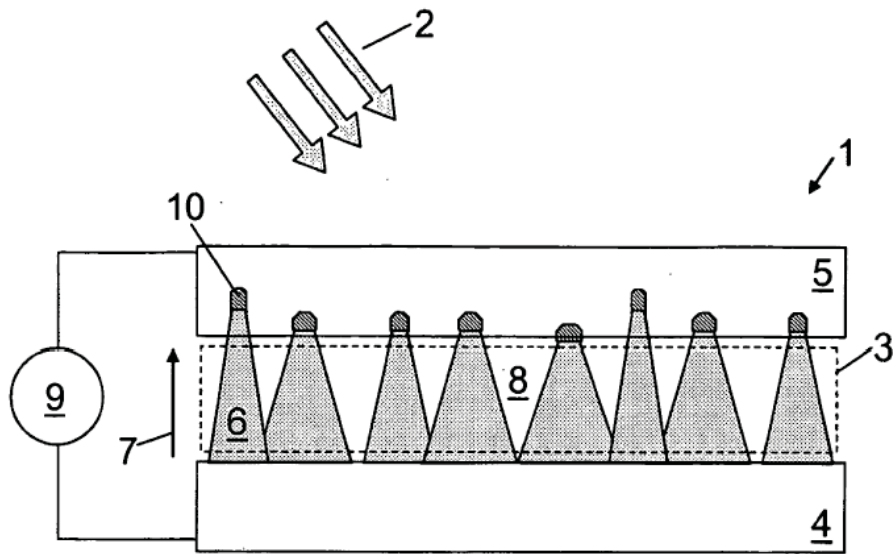


FIG. 1

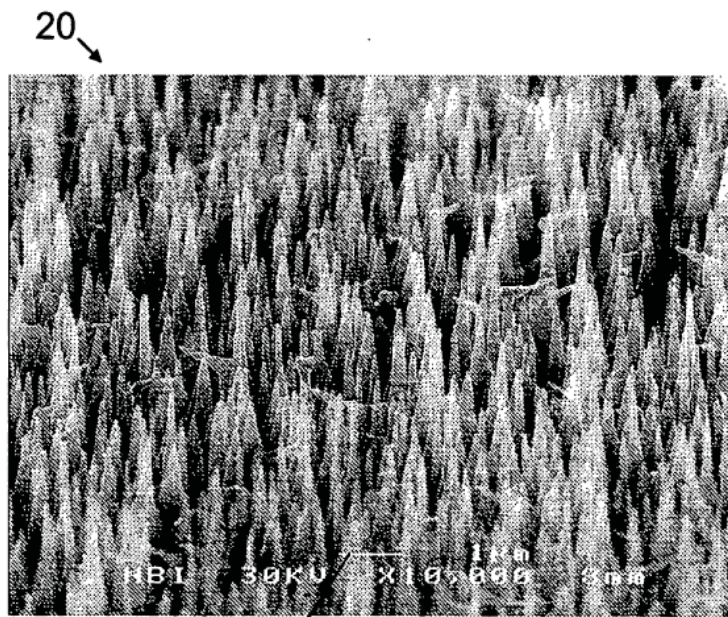


FIG. 2

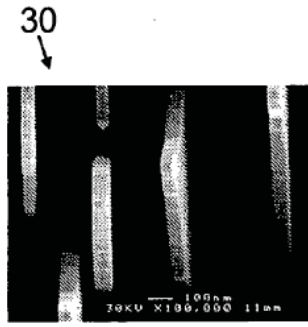


FIG. 3

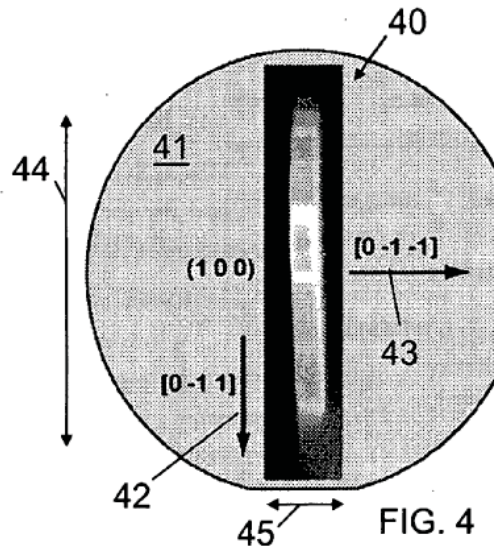


FIG. 4

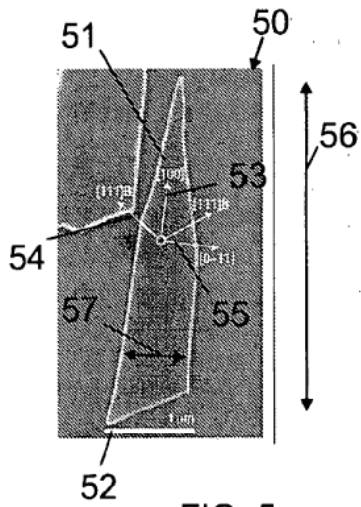


FIG. 5

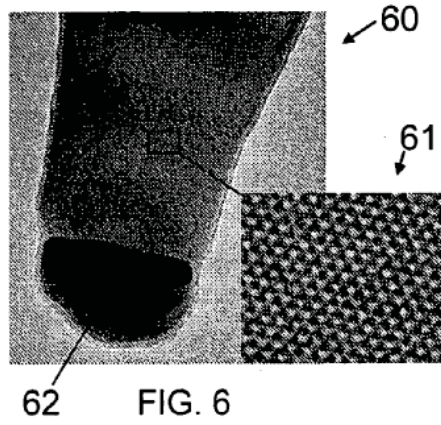


FIG. 6

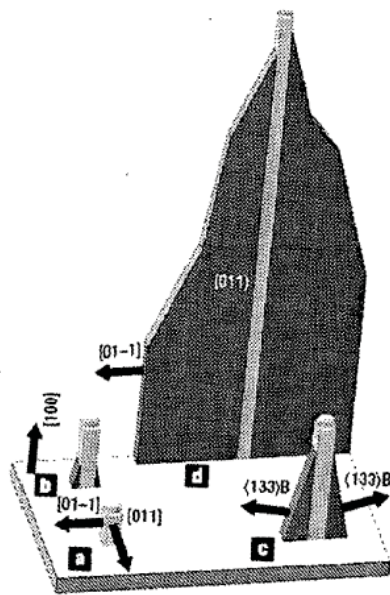


FIG. 7

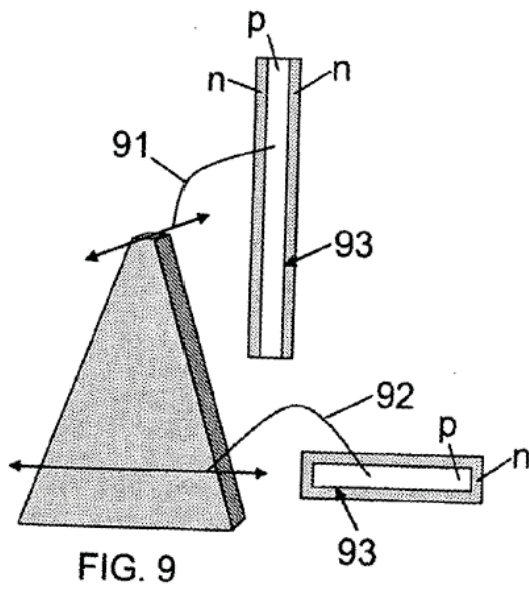


FIG. 9

FIG. 10

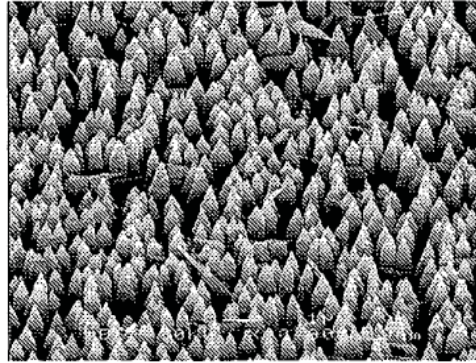


FIG. 8A

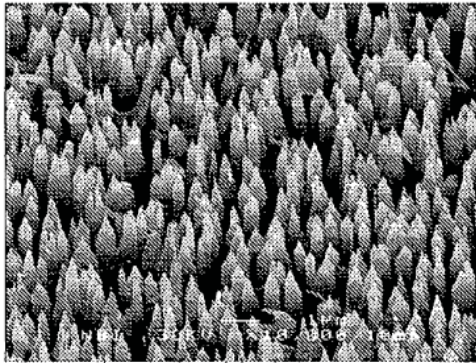


FIG. 8B

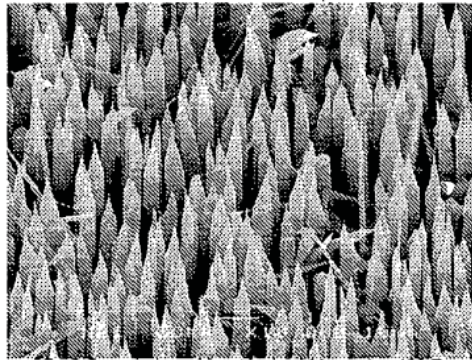


FIG. 8C

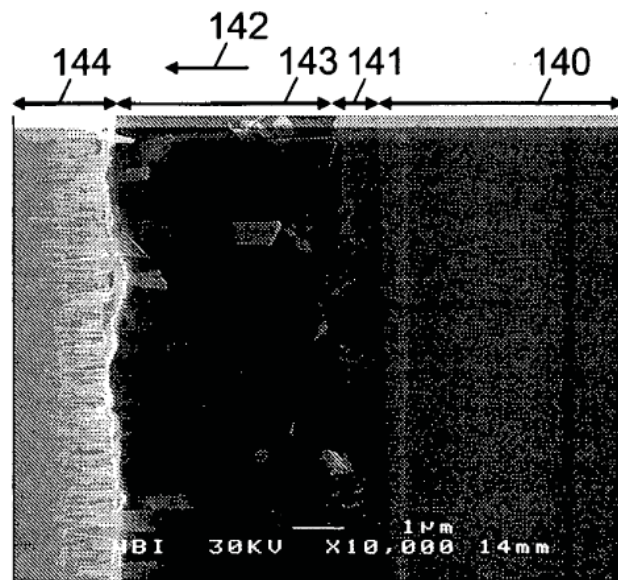
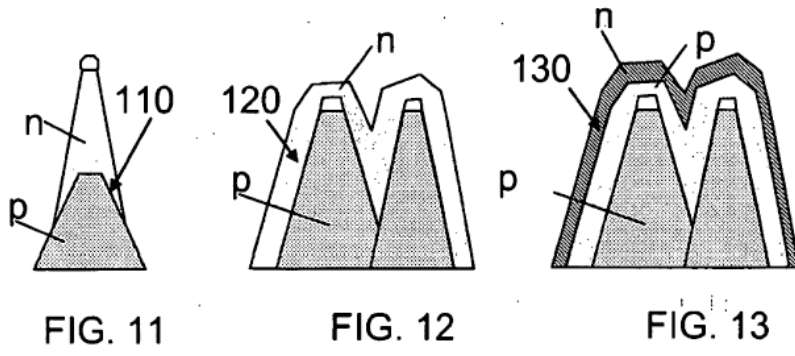


FIG. 14

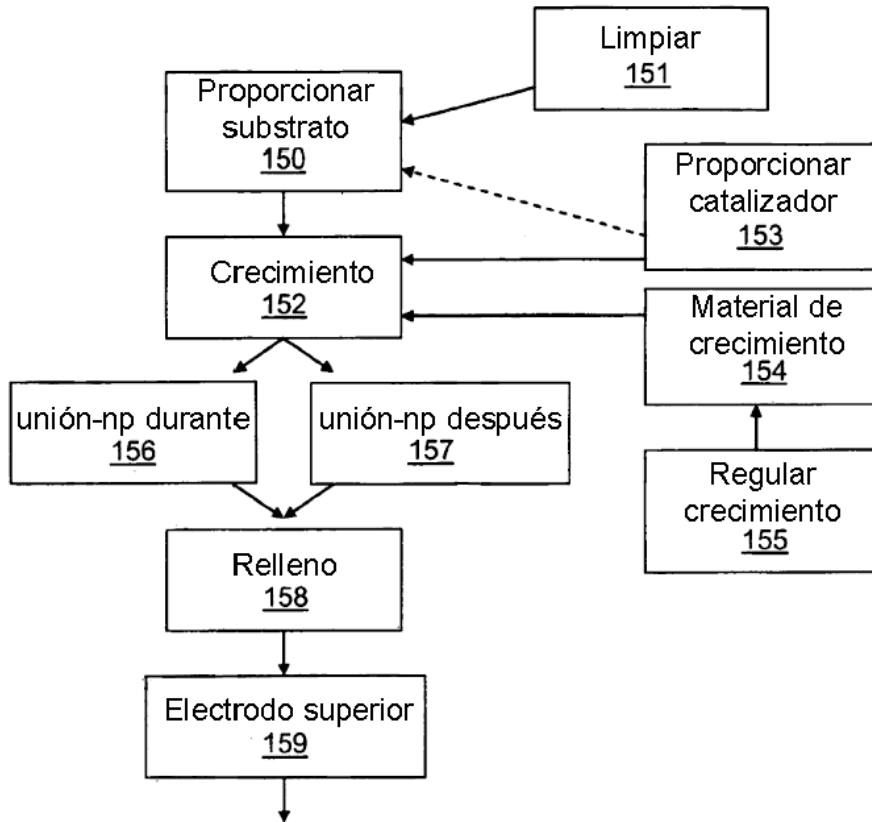


FIG. 15