

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 866**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/0693** (2012.01)

**H01L 31/0304** (2006.01)

**H01L 31/056** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.08.2013 PCT/EP2013/067161**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.02.2014 WO14027092**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2013 E 13762754 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 2885820**

54 Título: **Convertidor de potencia láser**

30 Prioridad:

**16.08.2012 GB 201214619**

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

**29.10.2019**

73 Titular/es:

**ARIANEGROUP GMBH (100.0%)  
Robert-Koch-Straße 1  
82024 Taufkirchen , DE**

72 Inventor/es:

**SWEENEY, STEPHEN JOHN y  
MUKHERJEE, JAYANTA**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 728 866 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

Convertidor de potencia láser

5 Campo de la invención

**[0001]** La presente invención se refiere a dispositivos convertidores de potencia láser (LPC) para convertir energía electromagnética en energía eléctrica. En particular, la presente invención se refiere a un LPC optimizado para recibir radiación electromagnética en una longitud de onda deseada.

10

Antecedentes de la invención

**[0002]** Los dispositivos para convertir la energía electromagnética en energía eléctrica existen desde hace algunas décadas. Estos dispositivos a menudo son conocidos como dispositivos fotovoltaicos. Una propiedad fundamental de cualquier dispositivo de este tipo es su eficacia, es decir, la cantidad de energía eléctrica extraída en comparación con la energía electromagnética recibida. Un objetivo del diseño de células fotovoltaicas es conseguir la mayor eficacia posible, es decir, extraer la mayor cantidad de energía eléctrica posible de una cantidad determinada de energía electromagnética recibida.

15

**[0003]** Quizás la forma más común de dispositivo fotovoltaico es la célula solar, diseñada para aprovechar la energía del sol para la generación de potencia eléctrica. Las células solares se encuentran en una amplia gama de aplicaciones, desde calculadoras de bolsillo hasta aeronaves con energía solar. Una consideración de diseño al intentar maximizar la eficacia de las células solares es el intervalo de longitudes de onda a las que se transmite la luz del sol.

20

**[0004]** También hay interés en otra forma de dispositivo fotovoltaico para la transmisión de potencia. Tradicionalmente, la potencia eléctrica se transporta desde su fuente hasta el punto en el que se va a utilizar por el cableado eléctrico. Sin embargo, al usar dispositivos fotovoltaicos es posible recibir energía que se ha transmitido en forma de radiación electromagnética de alta frecuencia.

25

**[0005]** Se han realizado esfuerzos para diseñar dispositivos fotovoltaicos para recibir energía de una fuente de luz de anchura de línea espectral estrecha, típicamente un láser, dentro de un sistema de transmisión de potencia. Por ejemplo, un láser de potencia eléctrica puede generar radiación electromagnética que, a su vez, puede ser recibida por un dispositivo fotovoltaico capaz de convertirla de nuevo en energía eléctrica. Los dispositivos fotovoltaicos a menudo se denominan convertidores de potencia láser (LPC) en este contexto.

30

**[0006]** En términos generales, la transmisión de potencia que utiliza dispositivos fotovoltaicos se presta a situaciones en las que el cableado eléctrico convencional o bien sufre interferencias electromagnéticas no deseadas, o bien es difícil de instalar. Por ejemplo, el cableado eléctrico enfrenta una interferencia cuando está ubicado en las proximidades de altas tensiones. Este efecto de interferencia es insignificante si la energía se transporta en forma de radiación electromagnética a través de cables de fibra óptica. El uso de cables de fibra óptica tiene la ventaja adicional de reducir la posibilidad de chispas no deseadas, lo que puede ser peligroso en una variedad de circunstancias.

35

**[0007]** La aplicación de dispositivos fotovoltaicos para la transmisión de potencia en circunstancias donde es difícil o imposible instalar cables de cualquier tipo puede permitir que la energía electromagnética se transmita a través del espacio libre. Por ejemplo, los satélites que orbitan la Tierra están en una posición ideal para generar energía eléctrica utilizando potencia solar. Puede ser posible que esta energía sea transmitida a la Tierra por un láser, donde puede ser reconvertida posteriormente en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas en una estación receptora. Esto puede permitir que la energía se transmita a zonas de la tierra que, por motivos prácticos, no pueden conectarse a una fuente de alimentación existente.

40

**[0008]** Además, los LPC también pueden ser útiles para aplicaciones que incluyen la alimentación remota de dispositivos eléctricos subcutáneos para diagnósticos médicos y aplicaciones relacionadas, y la alimentación inalámbrica de equipos electrónicos con visibilidad directa.

45

**[0009]** La radiación electromagnética generada por un láser es sustancialmente monocromática, es decir, un láser emite en un intervalo muy estrecho de longitudes de onda, en contraste con el amplio intervalo de longitudes de onda transmitidas desde el sol. Por lo tanto, las consideraciones de diseño para maximizar la eficacia de los dispositivos LPC difieren de las que se toman para maximizar la eficacia de las células solares.

50

**[0010]** Por ejemplo, V. Andreev y col. "High current density GaAs and GaSb photovoltaic cells for laser power beaming", Photovoltaic Energy Conversion Conference, página 761 (2003) informa que se alcanzaron eficacias superiores al 50 % para dispositivos fotovoltaicos basados en GaAs a una longitud de onda en la zona de 820nm a 850nm. Este documento describe dispositivos fotovoltaicos formados en un sustrato de GaAs que incluye un reflector de Bragg distribuido formado por capas alternantes de AlAs y GaAs para aumentar la capacidad de respuesta del

55

60

65

dispositivo a longitudes de onda entre 830nm y 870nm. El documento describe además el uso de láseres de yodo que funcionan a una longitud de onda de 1315 nm en la transmisión de potencia e investiga la posibilidad de dispositivos fotovoltaicos en base a un sustrato de GaSb para recibir radiación electromagnética en esta longitud de onda.

5 **[0011]** A. W. Bett y col. "III-V solar cells under monochromatic illumination", Photovoltaic Specialists Conference, página 1 (2008) proporciona una comparación de la eficacia conseguida utilizando dispositivos fotovoltaicos que tienen zonas activas formadas por diferentes materiales, concretamente, GaAs, GaInP y GaSb. Se consiguió una eficacia máxima del 54 % utilizando una zona activa de GaAs, alcanzándose el pico a una longitud de onda de alrededor de 810 nm. El documento también describe un dispositivo fotovoltaico de GaAs de doble unión que emplea un reflector  
10 de Bragg distribuido.

**[0012]** Aunque los esfuerzos descritos anteriormente para diseñar LPC de longitudes de onda particulares han tenido cierto éxito, están limitados en su aplicación. En particular, aunque se ha alcanzado una eficacia máxima de más del 50 %, esto se consigue en longitudes de onda de alrededor de 810nm a 870nm. En la práctica, dichas  
15 longitudes de onda son de uso limitado. Por ejemplo, a esta longitud de onda, la radiación electromagnética no es "segura para los ojos" y segura para la piel. La radiación "segura para los ojos" se produce en longitudes de onda de alrededor de 1,4  $\mu\text{m}$  y superiores, y ofrece un riesgo sustancialmente menor de dañar el ojo humano que la radiación en longitudes de onda más cortas. La radiación segura para los ojos en general se considera segura para la piel. Hay un claro beneficio en el uso de radiación segura para los ojos cuando se usan láseres para transmitir potencia.  
20

**[0013]** Otra desventaja de la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda en la zona de aproximadamente 810 nm a 870 nm es la atenuación de dicha radiación que se produce cuando pasa por fibras ópticas convencionales o la atmósfera. En cualquier caso, la energía se pierde antes de ser recibida por el dispositivo  
25 fotovoltaico.

**[0014]** Por estos motivos, se han realizado investigaciones sobre la transmisión de potencia utilizando radiación electromagnética en longitudes de onda más largas. Sin embargo, las eficacias conseguidas en longitudes de onda más largas han sido mucho más bajas que las de la zona de 800 nm.  
30

**[0015]** S.J. Wojtczuk y col. "Long-wavelength laser power converters for optical fibers", Photovoltaic Specialists Conference, página 971 (1997) analiza los dispositivos fotovoltaicos para recibir radiación electromagnética a longitudes de onda de 1,55  $\mu\text{m}$  y 2,1  $\mu\text{m}$ . En este contexto, el documento describe dispositivos fotovoltaicos que utilizan InGaAs formados en una oblea de InP. La eficacia máxima presentada para las células fotovoltaicas que utilizan InGaAs es de alrededor del 35 % a una longitud de onda de 1,55 $\mu\text{m}$ .  
35

**[0016]** H. Miyakawa y col. "Photovoltaic cell characteristics for high-intensity laser light", Solar Energy Materials & Solar Cells, pág. 253 (2005) también describe dispositivos fotovoltaicos In-GaAs/InP. Sin embargo, la eficacia máxima descrita en este documento es de alrededor del 24 % a una longitud de onda de 1480 nm.  
40

**[0017]** R. Pena y col. "Semiconductor materials for photovoltaic converters applied to power-by-light systems", Electron Devices Conference, páginas 291 a 294 (2005) presenta una evaluación de los materiales semiconductores adecuados para los sistemas alimentados por luz. Los autores revisan aspectos como la tensión de salida, la eficacia de la conversión, el tamaño del dispositivo, etc. Se mencionan materiales como GaSb, InGaAs y GaInAsP, así como sustratos de InP. Se presenta una eficacia de más del 40 % a una longitud de onda de 1550 nm para un material de  
45 GaSb en condiciones de laboratorio, y se presenta una eficacia del 34 % a una longitud de onda de 1550 nm para un convertidor hecho de material InGaAs.

**[0018]** Se puede observar que las eficacias conseguidas en estos cuatro sistemas son bastante bajas y que ni siquiera se acercan al 50 %. Los dispositivos con dichas eficacias tienen un beneficio limitado en un sistema LPC  
50 práctico.

**[0019]** A. Sahai y col. "Optical Wireless Power Transmission at Long Wavelengths", International Conference on Space Optical Systems and Applications, páginas 164 a 170 (2011), describe los aspectos de seguridad de la emisión de haces de potencia con longitudes de onda entre 1200 nm y 1400 nm, y menciona InGaAs (P) en InP como  
55 un material elegido. El documento presenta tasas de conversión de alta eficacia en longitudes de onda inferiores a 980 nm, pero no para la longitud de onda de 1550 nm.

**[0020]** El documento US2006/0048811 describe un dispositivo de conversión de potencia que tiene una formación multiunión. Cada unión, o subcélula, absorbe una parte de energía láser para convertirla en tensión y  
60 corriente, y se dice que la formación multiunión aumenta la eficacia global a medida que la energía láser no absorbida en una unión pasa a la siguiente. La publicación de patente menciona que InGaAsP puede ser un material adecuado para las longitudes de onda entre 810nm y 840nm.

**[0021]** El documento EP1936700 describe un dispositivo convertidor de energía fotovoltaico que emplea un  
65 material InGaAsP sobre un sustrato de InP para convertir la radiación con una longitud de onda de 1480 nm en potencia

eléctrica. Sin embargo, la publicación de la patente no menciona ninguna relación real de los elementos en el material InGaAsP ni ninguna eficacia de conversión.

- 5 **[0022]** En el resumen 8256-53, "High efficiency laser power converters for space-based laser power transfer application", de la Conference 8256: Physics, Simulation, and Photonic Engineering of Photovoltaic Devices (2012), J Mukherjee y col. presentan un dispositivo convertidor de potencia láser que funciona a una longitud de onda de 1,55  $\mu\text{m}$  con una eficacia de conversión del 41,2 %. No se proporcionan detalles del material a partir del cual se realiza la zona activa del dispositivo convertidor de potencia láser.
- 10 **[0023]** En el resumen 7933-63, "Laser power converters for space based power transfer applications", de la Conference 7933: Physics and Simulation of Optoelectronic XIX (2011), J Mukherjee y col. presentan un dispositivo convertidor de potencia láser en base a una homounión de InGaAsP con una eficacia de conversión superior al 60 %. No se proporcionan detalles específicos de las relaciones de los elementos en el material InGaAsP.
- 15 **[0024]** El documento US2012/0125392 describe una célula solar multiunión que incorpora un emisor de GaInPAs y una capa base. Se indica que la célula puede tener un intervalo de banda de 1,1 eV, 0,73 a 2,45 eV o 1,0 a 1,1 eV, pero no está claro si el material de GaInPAs puede usarse para conseguir estos intervalos de banda o algún otro material. No se analiza la eficacia de conversión para el material de GaInPAs.

20 Sumario de la invención

**[0025]** La invención se define según la reivindicación 1 (dispositivo) y la reivindicación 14 (procedimiento). Según la presente invención, se proporciona un dispositivo convertidor de potencia láser 'LPC' para recibir radiación electromagnética incidente a una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm, el LPC que comprende: un sustrato  
25 que comprende InP; y una zona activa que comprende una capa dopada con n y una capa dopada con p, las capas dopadas con n y dopadas con p que están formadas de InGaAsP, la zona activa que está dispuesta para absorber fotones de radiación electromagnética que tienen una longitud de onda asociada de aproximadamente 1550 nm, en el que el InGaAsP es un entramado que se hace coincidir con el sustrato;

30 caracterizado porque el InGaAsP de la zona activa es  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ , donde  $x = 0,948, 0,957, 0,965, 0,968, 0,972$  o  $0,976$  e  $y = 0,557, 0,553, 0,549, 0,547, 0,545$  o  $0,544$  respectivamente.

**[0026]** El dispositivo LPC puede tener una mayor eficacia para convertir la radiación de 1550 nm en energía eléctrica en comparación con los LPC conocidos. Por ejemplo, la eficacia puede ser de, al menos, el 44 % a una  
35 densidad de potencia de  $1\text{kWm}^{-2}$  (la densidad de potencia proporcionada por el sol en la superficie de la Tierra, a la que generalmente se citan las eficacias de las células solares) y puede ser superior al 50 %.

**[0027]** Cuando un fotón genera un par de portadores de carga en la zona activa de un dispositivo fotovoltaico, implica la excitación de un electrón desde la banda de valencia a la banda de conducción a través de un intervalo de  
40 banda. La energía eléctrica generada mediante este proceso está muy cerca de la energía del intervalo de banda del material absorbente (la energía creada es apenas inferior al intervalo de banda, igual a la separación de los niveles de cuasi Fermi multiplicados por la carga de un electrón). Si el fotón incidente tiene una energía menor que el intervalo de banda que no se absorbe, el electrón no puede ser excitado y no se produce energía eléctrica. Por otro lado, si la energía del fotón incidente es mayor que el intervalo de banda, entonces el electrón puede ser excitado, pero cualquier  
45 exceso de energía se pierde en el sistema como calor antes de que se pueda extraer a un circuito externo. El exceso de energía se conoce como el déficit cuántico. El intervalo de banda de la zona activa de InGaAsP se puede elegir de manera que la capacidad de respuesta del dispositivo LPC se maximice a una longitud de onda de 1550 nm, al elegir adecuadamente la composición de la aleación de InGaAsP, lo que da como resultado un equilibrio adecuado entre la pérdida debida al déficit cuántico y la ganancia debida al aumento de la densidad de los estados con energía en el  
50 dispositivo para un intervalo de condiciones de funcionamiento. Esto aumenta la eficacia de la conversión óptica a eléctrica, o la eficacia de la célula, del dispositivo.

**[0028]** La atenuación de las ondas electromagnéticas en los cables de fibra óptica a base de sílice es, como mínimo, de  $1,55\mu\text{m}$ , lo que hace que una radiación de conversión de LPC a esta longitud de onda sea particularmente  
55 útil. Además, hay una ventana atmosférica (es decir, una atenuación mínima de las ondas electromagnéticas que atraviesan la atmósfera) en esta longitud de onda. Según se ha mencionado anteriormente, la luz láser en longitudes de onda por encima de  $1,4\mu\text{m}$  se suele referir como "segura para los ojos", ya que esta frecuencia es absorbida por la córnea y la lente en el ojo antes de que pueda alcanzar y dañar la retina. Las longitudes de onda de  $1,4\mu\text{m}$  y superiores también son seguras para la piel. Concretamente, dichas longitudes de onda son seguras para los ojos y seguras para  
60 la piel hasta una densidad de potencia de  $1\text{kW/m}^2$ . En consecuencia, hay ventajas en materia de seguridad al usar longitudes de onda por encima de  $1,4\mu\text{m}$  para la transmisión de potencia.

**[0029]** El hecho de que la zona activa de InGaAsP sea un entramado que se hace coincidir con el sustrato puede minimizar las pérdidas causadas por la recombinación relacionada con el defecto de electrones u agujeros.

65

- 5 **[0030]** La zona activa que se forma de  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ , donde  $x = 0,948, 0,957, 0,965, 0,968, 0,972$  o  $0,976$  e  $y = 0,557, 0,553, 0,549, 0,547, 0,545,$  o  $0,544$  respectivamente puede conseguir la máxima eficacia de conversión del LPC con zona activa de InGaAsP para radiación incidente de 1550nm. Esto se puede conseguir alrededor de la temperatura ambiente de la zona activa y hasta alrededor de 30 grados Celsius por encima de la temperatura ambiente.
- 10 **[0031]** Las composiciones pueden equilibrar los factores que afectan la eficacia del dispositivo de la densidad de estados, el déficit cuántico y el autocalentamiento de la zona activa absorbente en el LPC, lo que provoca la contracción del intervalo de banda. Se puede elegir un intervalo de banda a una longitud de onda mayor a 1550 nm para maximizar la eficacia de absorción de la radiación de 1550 nm, debido a los efectos anteriores, por ejemplo.
- 15 **[0032]** Puesto que la absorción de las mesetas de InGaAsP a longitudes de onda más cortas que la longitud de onda del intervalo de banda, la eficacia de conversión del fotón incidente en electrón a longitudes de onda apenas por debajo de la longitud de onda del intervalo de banda, que en definitiva determina la eficacia de conversión óptica en eléctrica del LPC bajo iluminación monocromática es casi la misma para un intervalo de longitudes de onda justo por debajo de la longitud de onda del intervalo de banda. Por lo tanto, más de una composición es posible.
- 20 **[0033]** La zona activa es un entramado que se hace coincidir con el sustrato y, preferentemente, también lo son todas las demás capas del dispositivo. Esto elimina la deformación en el dispositivo. Por consiguiente, es posible fabricar dispositivos que tengan capas relativamente gruesas sin causar defectos no deseados en la red cristalina, el grosor relativo aumenta la probabilidad de que los fotones que atraviesan la capa activa generarán pares de portadores de carga, mientras que la falta de defectos aumenta la probabilidad de que los portadores de carga una vez generados se puedan extraer satisfactoriamente. En consecuencia, la eficacia del dispositivo puede aumentar.
- 25 **[0034]** Preferentemente, el sustrato está formado por una aleación binaria que comprende uno de los dos elementos del grupo III del material semiconductor activo y uno de los dos elementos del grupo V del material semiconductor activo. El crecimiento en otros sustratos, por ejemplo, los materiales elementales del grupo IV, tal como el silicio, también pueden ser posibles con el crecimiento metamórfico. El uso de un sustrato basado en III-V asegura que las propiedades del material del dispositivo sean lo más coherentes posible, ayudando en el proceso de fabricación y la coincidencia del entramado del material activo semiconductor de la capa activa con el sustrato. En realizaciones preferidas, el sustrato está formado de InP.
- 30 **[0035]** Preferentemente, el dispositivo comprende además un elemento reflectante ajustado para reflejar la radiación electromagnética a la longitud de onda deseada. Por consiguiente, el elemento reflectante se puede usar para reflejar la radiación electromagnética que no es absorbida por la zona activa cuando primero la atraviesa, de vuelta a la zona activa para una segunda oportunidad a ser absorbida. Esto aumenta la probabilidad general de que un fotón determinado genere un par de portadores de carga en la zona activa, convirtiendo así la energía electromagnética en energía eléctrica. Por lo tanto, el elemento reflectante aumenta la eficacia del dispositivo.
- 40 **[0036]** Preferentemente, el elemento reflectante es un reflector de Bragg distribuido que comprende capas alternantes de un primer material y un segundo material. Preferentemente, los materiales del reflector de Bragg distribuido son coherentes con los del resto del dispositivo. En particular, el primer material es, preferentemente, el material semiconductor activo. Además, o de forma alternativa, el segundo material puede ser el mismo que el que se forma el sustrato. También es posible utilizar recubrimientos dieléctricos multicapa para formar el reflector de Bragg distribuido. Por ejemplo, en una realización de la invención en la que el sustrato está formado por InP, las capas alternantes del reflector de Bragg distribuido pueden estar formadas por InGaAsP e InP.
- 45 **[0037]** Preferentemente, el elemento reflectante es un entramado que se hace coincidir con el sustrato, lo que reduce la deformación en el dispositivo. En realizaciones preferidas, el elemento reflectante está dispuesto entre el sustrato y la zona activa. En consecuencia, la radiación electromagnética que se refleja desde el elemento reflectante a la zona activa no necesita pasar por el sustrato.
- 50 **[0038]** Preferentemente, el dispositivo comprende además un ánodo en contacto directo con la capa dopada con p; y un cátodo en contacto directo con la capa dopada con n, en el que el ánodo y el cátodo están dispuestos de manera que existe una vía óptica entre la zona activa y el elemento reflectante que no pasa por el ánodo ni el cátodo.
- 55 **[0039]** Preferentemente, la capa dopada con n y la capa dopada con p están separadas en una primera dirección y el ánodo y el cátodo están separados en una segunda dirección perpendicular a la primera dirección.
- 60 **[0040]** La disposición de cátodo, electrodo y elemento reflectante permite que la luz sea reflejada desde el elemento reflectante a la zona activa sin ser bloqueada por el ánodo o el cátodo. Sin embargo, dado que el ánodo y el cátodo están ambos en contacto directo con la zona activa, es posible extraer los portadores de carga generados en la zona activa sin que sea necesario que pasen por el elemento reflectante. La disposición asegura la trayectoria de extracción más corta posible para los portadores de carga, minimizando la posibilidad de que se vuelvan a combinar y, por lo tanto, no se puedan extraer. Típicamente, los portadores de carga se recombinarán después de un período
- 65

de alrededor de 10 ns. Al proporcionar una trayectoria de extracción corta, se extraerá una mayor proporción de portadores de carga al circuito eléctrico externo antes de que se recombinen de manera radiativa o no radiativa. Como tal, la disposición del ánodo y el cátodo aumenta la eficacia del dispositivo.

5 **[0041]** Preferentemente, el ánodo y el cátodo están dispuestos en canales que se extienden desde una superficie del dispositivo a la zona activa. Esta disposición proporciona una manera cómoda y eficaz que permite que el ánodo y el cátodo sean separados lateralmente de manera que retienen una trayectoria óptica desde la zona activa hasta el elemento reflectante que no está impedida por el ánodo o el cátodo.

10 **[0042]** En una realización preferida, el dispositivo comprende además una o más capas aislantes dispuestas entre la sección dopada con p de la zona activa y el cátodo y/o entre la zona dopada con n de la zona activa y el ánodo. Esto asegura que el ánodo y/o el cátodo solo estén en contacto con la capa requerida de la zona activa.

**[0043]** Preferentemente, la capa dopada con n comprende una capa de absorción dopada con n y una capa de contacto dopada con n y el cátodo está en contacto directo con la capa de contacto dopada con n. La capa de contacto dopada con n puede tener un mayor nivel de dopaje con n que la capa de absorción dopada con n, lo que proporciona un contacto óhmico mejorado entre la capa dopada y el cátodo.

**[0044]** En realizaciones preferidas, el dispositivo comprende además una capa de bloqueo de electrones dispuesta entre la zona activa y un/el sustrato, en el que la composición de la capa de bloqueo de electrones es de modo que existe una energía de desplazamiento de banda de conducción en una interfaz entre la zona activa y la capa de bloqueo de electrones.

**[0045]** La capa de bloqueo de electrones puede reducir el número de electrones que se filtran en partes no deseadas del dispositivo. En particular, la capa de bloqueo de electrones puede ayudar a asegurar que los electrones sean extraídos directamente por el cátodo.

**[0046]** En realizaciones preferidas, la capa dopada con n comprende una capa de absorción dopada con n y una capa de contacto dopada con n y la interfaz entre la capa de bloqueo de electrones y la zona activa está entre la capa de bloqueo de electrones y la capa de contacto dopada con n.

**[0047]** Según la presente invención, también se proporciona un procedimiento para convertir la radiación electromagnética en potencia eléctrica, el procedimiento que comprende las etapas de:

35 recibir en un dispositivo LPC radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm; absorber, en una zona activa de InGaAsP del entramado del dispositivo LPC que se hace coincidir con un sustrato de InP del dispositivo, fotones de radiación electromagnética que tienen una longitud de onda asociada de aproximadamente 1550 nm; extraer energía eléctrica del dispositivo LPC; caracterizado porque el InGaAsP de la zona activa es  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ , donde  $x = 0,948, 0,957, 0,965, 0,968, 0,972$  o  $0,976$  e  $y = 0,557, 0,553, 0,549, 0,547, 0,545$  o  $0,544$  respectivamente.

**[0048]** En una realización preferida adicional, se presenta un procedimiento de transmisión de potencia eléctrica, el procedimiento que comprende las etapas de:

45 introducir potencia eléctrica a una fuente de anchura de línea estrecha, cuya fuente de anchura de línea estrecha es preferentemente un láser;

emitir desde la fuente de anchura de línea estrecha la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm; y

50 convertir la radiación electromagnética en potencia eléctrica según el procedimiento descrito anteriormente.

#### Breve descripción de los dibujos

55 **[0049]** A continuación, se describen las realizaciones preferidas de la presente invención solamente a modo de ejemplo, en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 muestra una vista lateral de un dispositivo LPC según una realización preferida de la presente invención;

60 la figura 2A muestra una vista aérea de la realización preferida ilustrada en la figura 1;

la figura 2B muestra una vista aérea de una realización alternativa de la presente invención;

65 la figura 3 ilustra las energías de conducción y de la banda de valencia y los niveles de Fermi a través de las

capas de la realización preferida;

la figura 4 muestra la curva de densidad-tensión actual de la realización preferida bajo la iluminación de  $1\text{W}/\text{m}^2$  a una longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$ ;

5

la figura 5A muestra la reflectividad calculada de un reflector de Bragg diferencial que tiene veinte pares de capas de InGaAsP e InP en función de la longitud de onda; la figura 5B muestra la reflectividad calculada de un reflector de Bragg diferencial que tiene treinta pares de capas de InGaAsP e InP en función de la longitud de onda; y

10

las figuras 6A a 6C muestran sistemas de ejemplo que incorporan un LPC.

#### Descripción detallada

**[0050]** En referencia a la figura 1, según una primera realización preferida de la invención, se proporciona un dispositivo LPC 1. El dispositivo 1 comprende un revestimiento antirreflectante 10, una capa de ventana 20, una zona activa 30, una capa de bloqueo de electrones 40, un reflector de Bragg distribuido (DBR) 50 y un sustrato 60. El dispositivo comprende además un ánodo 70, un cátodo 80 y capas aislantes 90.

**[0051]** La zona activa 30 está formada por fosfuro de arseniuro de indio y galio (InGaAsP), con la proporción de elementos químicos en las capas de InGaAsP que es  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ . El dispositivo LPC de la realización preferida que se muestra en la figura 1 está diseñado para convertir la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$  en energía eléctrica. Sin embargo, la composición exacta de InGaAsP puede elegirse para que tenga una longitud de onda de intervalo de banda ligeramente superior a  $1,55\mu\text{m}$  porque, en funcionamiento, el dispositivo se calienta y el intervalo de banda se desplaza a longitudes de onda más largas. En funcionamiento, la temperatura de la unión normalmente puede ser desde temperatura ambiente hasta 30 grados centígrados por encima de la temperatura ambiente.

**[0052]** Para obtener un intervalo de banda adecuado, la composición puede ser  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ , donde  $x = 0,948, 0,957, 0,965, 0,968, 0,972$  o  $0,976$  e  $y = 0,557, 0,553, 0,549, 0,547, 0,545$  o  $0,544$  respectivamente. Todas estas composiciones pueden conseguir una alta eficacia de conversión a temperaturas de unión elevadas, aunque en función de la temperatura particular, algunas pueden ser más adecuadas que otras y darán una eficacia de conversión ligeramente mayor. Esto se debe al hecho de que, aunque el perfil de absorción por debajo del intervalo de banda de la meseta del absorbente, la meseta no es absolutamente plana y se inclina ligeramente hacia longitudes de onda más cortas. El experto en la materia puede seleccionar la composición más adecuada en las circunstancias. En otras palabras, la composición óptima puede elegirse en función de cómo se utilice el LPC con las diferentes composiciones que se adapten mejor a las diferentes condiciones de funcionamiento. Por ejemplo, en condiciones de alta intensidad de iluminación, lo que hace que la temperatura de la unión aumente, o temperaturas ambientales altas, se puede elegir una célula con un borde de la banda más corto. En situaciones más frías, se puede elegir una composición de longitud de onda más larga.

40

**[0053]** En esta realización, el sustrato 60 comprende una oblea de fosfuro de indio (InP), tal como la que está disponible en Wafer Technology Ltd. El sustrato es de aproximadamente  $80\mu\text{m}$  de grosor.

**[0054]** El DBR 50 está dispuesto directamente sobre el sustrato y está optimizado para reflejar la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$ . El DBR 50 está formado por capas alternantes de InP e InGaAsP con la proporción de elementos químicos en la capa de InGaAsP que de nuevo es  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ . Las capas de InGaAsP son entramados que se hacen coincidir con el InP, lo que minimiza la deformación entre las capas del DBR 50.

**[0055]** En la realización preferida, las capas de InP e InGaAsP del DBR 50 tienen una relación de índice de refracción de 3.48:3.17. Según se ha mencionado anteriormente, el DBR 50 está optimizado para reflejar la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$ . Por ejemplo, el grosor de las capas de InP e InGaAsP está optimizado para reflejar la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$ . En la realización preferida, hay entre 10 y 30 capas de cada uno de InP e InGaAsP en el DBR 50.

55

**[0056]** La capa de bloqueo de electrones 40 está dispuesta sobre el DBR 50. La capa de bloqueo de electrones está formada por InP dopada con n y tiene un grosor de alrededor de  $0,1\mu\text{m}$ . El nivel de dopaje con n en la capa de bloqueo de electrones 40 está en el intervalo de  $5 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$  a  $1 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$  y es, preferentemente, de alrededor de  $1 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$ . La capa de bloqueo de electrones 40 evita la fuga de electrones de la zona activa 30.

60

**[0057]** La zona activa 30 comprende una capa dopada con p 31 y una capa dopada con n, 32, 33. La capa dopada con n 32, 33 comprende dos subcapas distintas, una capa de absorción dopada con n 32 y una capa de contacto dopada con n 33. La capa de absorción 32 dopada con n se dispone adyacente a la capa dopada con n 31 y la capa de contacto dopada con n 33 está dispuesta adyacente a la capa de absorción dopada con n 32. La figura 1 también ilustra la zona de empobrecimiento 34 que se forma en la interfaz entre la capa dopada con p 31 y la capa de

65

absorción dopada con n 32.

**[0058]** La capa dopada con p 31 tiene un dopaje en el intervalo de  $1 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$  a  $3 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$  y, preferentemente, alrededor de  $2 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$ . La capa dopada con p 31 con p tiene un grosor de alrededor de  $0,75\mu\text{m}$ .

5 Es preferible no emplear una capa dopada con p 31 significativamente más gruesa a causa de los posibles efectos de recombinación del portador de carga en la capa dopada con p 31, tal como la absorción de la banda de intervalencia.

**[0059]** La capa de absorción 32 dopada con n es relativamente gruesa, con un grosor de alrededor de  $4,75\mu\text{m}$  y tiene un nivel de dopaje relativamente bajo en el intervalo de  $1 \cdot 10^{17}\text{cm}^{-3}$  a  $3 \cdot 10^{17}\text{cm}^{-3}$  y, preferentemente, alrededor de  $1 \cdot 10^{17}\text{cm}^{-3}$ . El grosor relativo de la capa de absorción dopada con n 32 aumenta la probabilidad de que los fotones que pasan por el dispositivo 1 sean absorbidos en la capa de absorción dopada con n 32.

**[0060]** La capa de contacto dopada con n 33 tiene un grosor de alrededor de  $0,5\mu\text{m}$  y un dopaje en el intervalo de  $5 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$  a  $1 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$  y, preferentemente, alrededor de  $1 \cdot 10^{19}\text{cm}^{-3}$ . El dopaje relativamente alto de la capa de contacto dopada con n 33 en comparación con la capa de absorción dopada con n 32 se proporciona para ofrecer un contacto óhmico superior entre la zona activa y el cátodo 80, permitiendo así la extracción eficaz de la corriente del dispositivo 1. Además, el gradiente en los niveles de dopaje entre la capa de contacto dopada con n 33 y la capa de absorción dopada con n 32 proporciona una diferencia de potencial que fomenta la extracción de corriente de la capa de absorción dopada con n 32.

**[0061]** La proporción de elementos en la zona activa 30 es de manera que la zona activa 30 es un entramado que se hace coincidir con las otras características del dispositivo fotovoltaico 1. En particular, la zona activa 30 es un entramado que se hace coincidir con el sustrato 60. Esto reduce la deformación en el dispositivo 1, lo que significa que se crean menos defectos a medida que crece el dispositivo 1. Como resultado, la eficacia del dispositivo 1 aumenta a medida que los defectos son eficaces para aumentar la resistencia del dispositivo a los portadores de carga. Es decir, al reducir el número de defectos en el dispositivo 1, incrementa la eficacia del dispositivo 1 al convertir los pares de portadores de carga en energía eléctrica extraída satisfactoriamente por el ánodo 70 y el cátodo 80. Los niveles más altos de defectos típicamente conllevan la pérdida de energía como calor.

**[0062]** Como la zona activa 30 es un entramado que se hace coincidir con las características restantes del dispositivo 1, es posible que crezcan capas relativamente gruesas de la zona activa 30 sin causar defectos excesivos. A su vez, esto aumenta la probabilidad de que un fotón que pasa por la zona activa 30 sea capturado, generando así un par de portadores de carga.

**[0063]** Además, las proporciones de elementos químicos en la zona activa 30 se eligen de modo que la capacidad de respuesta de la zona activa 30 sea máxima en la longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$ . Al elegir la proporción de elementos químicos, el intervalo de banda de la zona activa 30 se puede seleccionar de manera que se maximice la capacidad de respuesta de la zona activa 30. Por otra parte, puesto que la zona activa 30 contiene dos elementos del grupo III (indio, galio) junto con dos elementos del grupo V (arsénico, fósforo), es posible que ambos entramados hagan coincidir la zona activa 30 con el sustrato 60 y seleccionen un intervalo de banda adecuado simultáneamente.

**[0064]** La capa de ventana 20 está dispuesta sobre la zona activa 30 y está formada por InP dopada con p. El nivel de dopaje en la capa de ventana 20 está en el intervalo de  $1 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$  a  $3 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$  y, preferentemente, alrededor de  $2 \cdot 10^{18}\text{cm}^{-3}$ . El grosor de la capa de la ventana es de alrededor de  $0,2\mu\text{m}$ . La capa de ventana es eficaz para evitar que los agujeros se filtren hacia arriba desde la capa dopada con p 31, ayudando así a la extracción de los agujeros directamente desde la capa dopada con p 31 por el ánodo 70.

**[0065]** El revestimiento antirreflectante 10 está dispuesto sobre la capa de ventana 20. El revestimiento antirreflectante está formado por nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) y tiene un grosor de alrededor de  $210\text{ nm}$ . Esto proporciona una reflectividad a  $1,55\mu\text{m}$  de alrededor de  $0,4\%$ . En realizaciones alternativas, se pueden usar otros materiales para el revestimiento antirreflectante, tal como el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

**[0066]** El ánodo 70 y el cátodo 80 están espaciados lateralmente y ambos están en contacto directo con la zona activa 30. La disposición del ánodo 70 y el cátodo 80 permite una trayectoria óptica entre la zona activa 30 y el DBR 50 que no pasa por el ánodo 70 o el cátodo 80. Tanto el ánodo 70 como el cátodo 80 tienen una extensión lateral en el intervalo de  $0,2\mu\text{m}$  a  $0,4\mu\text{m}$  y, preferentemente, alrededor de  $0,2\mu\text{m}$ . El ánodo 70 y/o el cátodo 80 son preferentemente metálicos y, en particular, pueden ser contactos formados por Ti/Pt/Au (titanio/platino/oro) o Au/Ge/Ni (oro/germanio/níquel).

**[0067]** El ánodo 70 y el cátodo 80 se extienden ambos desde la misma superficie del dispositivo. Según se muestra en la figura 1, esta es la superficie superior del dispositivo.

**[0068]** La disposición del ánodo 70 y el cátodo 80 permite que los fotones pasen por la zona activa 30 sin ser absorbidos y posteriormente reflejados por el DBR 50 de vuelta a la zona activa 30, proporcionando así una oportunidad adicional para que los fotones sean absorbidos. Además, debido a que el ánodo 70 y el cátodo 80 están

en contacto directo con la zona activa 30, los portadores de carga no pierden energía en otras capas del dispositivo 1 a medida que la energía eléctrica se extrae del dispositivo 1.

5 **[0069]** Una capa aislante 90 está dispuesta entre el cátodo 80 y la capa dopada con p 32 de la zona activa 30 a fin de evitar que el dispositivo sufra un cortocircuito. En la realización preferida, la capa aislante 90 está formada de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y tiene un grosor de aproximadamente  $0,2\mu\text{m}$ . La figura 1 también muestra capas aislantes adicionales 90 que rodean el ánodo 70 a medida que pasa por la capa de ventana 10.

10 **[0070]** La figura 2A muestra una vista aérea del dispositivo fotovoltaico 1 de la realización preferida. Se puede observar que el dispositivo 1 tiene un perfil circular. La figura 2A ilustra cómo el ánodo 70 y el cátodo 80 están separados lateralmente. En la realización preferida, el ánodo comprende una serie de círculos concéntricos separados por alrededor de  $0,64\text{ cm}$  junto con una derivación radial que conecta los círculos concéntricos y proporciona un contacto externo. El cátodo 80 se forma alrededor de la periferia exterior del dispositivo 1.

15 **[0071]** La separación de los círculos concéntricos del ánodo 70 se elige para proporcionar un equilibrio óptimo entre la distancia que los portadores de carga deben desplazarse en la zona activa 30 antes de que la energía eléctrica sea extraída por el ánodo 70 y la cantidad de "ensombrecimiento" mediante el cual el ánodo cubre la zona activa 30, evitando así que los fotones alcancen la zona activa 30. Un experto en la técnica reconocerá que pueden usarse disposiciones alternativas de ánodo 70 y cátodo 80 espaciados lateralmente.

20 **[0072]** En algunas realizaciones alternativas, el perfil circular del dispositivo 1 que se muestra en la figura 2A se puede alterar para proporcionar un dispositivo que pueda encajar a la perfección más fácilmente en una matriz. Por ejemplo, la figura 2B muestra el dispositivo 1 con un perfil hexagonal. Como tal, una matriz de dispositivos que pueden estar firmemente empaquetados uno al lado del otro con un mínimo espacio desperdiciado.

25 **[0073]** El dispositivo 1 está formado por la epitaxia de haz molecular (MBE) o la deposición química por vapor de organometálicos (MOCVD) (a veces también denominada epitaxia en fase vapor de organometálicos (MOVPE)), donde las diferentes capas se cultivan en secuencia en condiciones de un alto vacío. Primero, el DBR 50 se proporciona en el sustrato formando capas alternantes de InP e InGaAsP. A continuación, la capa de bloqueo de electrones 40 se proporciona formando una capa de InP dopada con n el DBR 50. La zona activa 30 se proporciona posteriormente en la capa de bloqueo de electrones 40 formando, en secuencia, la capa de contacto dopada con n 33, la capa de absorción 32 dopada con n y la capa dopada con p 31. Cada una de ellas está formada por InGaAsP con el dopaje adecuado según se describe anteriormente. La proporción de elementos químicos en la zona activa 30 es de manera que el entramado se hace coincidir con el sustrato 50 y tiene un intervalo de banda que corresponde a  
30 una capacidad de respuesta máxima del dispositivo a la longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$ . La capa de ventana 20 se forma en la zona activa 30 formando una capa de InP dopada con p. El revestimiento antirreflectante 10 se forma posteriormente en la capa de ventana 20.

40 **[0074]** La zona de empobrecimiento 34 se produce de forma natural cuando la capa dopada con p 31 y la capa de absorción dopada con n 32 se forman adyacentes entre sí. El empobrecimiento representa una zona a través de la cual se ha formado una diferencia de potencial, asegurando así que a medida que se forman pares de portadores de carga en la zona activa 30 se pueden extraer en el ánodo 70 y el cátodo 80.

45 **[0075]** El ánodo 70, el cátodo 80 y las capas aislantes 90 se forman entonces mediante técnicas litográficas. Es decir, se forman creando canales en la superficie del dispositivo 1 en el que están dispuestos el ánodo 70, el cátodo 80 y las capas aislantes 90.

50 **[0076]** En uso, se puede usar un láser para proporcionar una fuente de radiación electromagnética monocromática (es decir, de longitud de onda única), ilustrada como frente de onda plano 100 en la figura 1, aunque el experto en la técnica apreciará que el frente de onda incidente no siempre tiene que ser plano. Según se muestra en la figura 1, la radiación electromagnética entra en el dispositivo desde arriba, pasando primero por el revestimiento antirreflectante 10.

55 **[0077]** El revestimiento antirreflectante 10 minimiza la cantidad de radiación electromagnética que se refleja desde el dispositivo 1. Posteriormente, la radiación electromagnética pasa por la capa de ventana 20. La capa de ventana 20 bloquea los agujeros creados en la capa dopada con p 31 para que no alcancen la superficie del dispositivo 1. Esto proporciona ventajas particulares porque la superficie del dispositivo 1 (y, de hecho, cualquier dispositivo semiconductor crecido) tendrá una densidad de defectos relativamente grande. Como tal, si los agujeros alcanzan la superficie del dispositivo 1, es probable que se recombinen con electrones en estos defectos, lo que produce una  
60 pérdida de portadores fotogenerados. Por consiguiente, la capa de ventana 20 es eficaz para reducir estas pérdidas. La capa de ventana no impide la transmisión de la radiación electromagnética de alrededor de  $1,55\mu\text{m}$  proporcionada por el láser.

**[0078]** La radiación electromagnética entra entonces en la zona activa 30. En este punto, el efecto de la radiación electromagnética se puede entender mejor si se considera como una secuencia de fotones. A medida que

5 cada fotón pasa por la zona activa 30, puede interactuar con el material de la capa activa a fin de excitar un electrón desde la banda de valencia a la banda de conducción, creando así un par de portadores de carga (es decir, el electrón excitado y el agujero que deja en la banda de valencia). A continuación, los portadores de carga del par de portadores de carga se desplazan hasta el ánodo 70 y el cátodo 80 para permitir que se extraiga energía eléctrica del dispositivo 1.

10 **[0079]** En la zona activa 30 del dispositivo 1 que se muestra en la figura 1, la mayoría de la absorción de fotones se produce en la capa de absorción dopada con n 32 relativamente gruesa. Sin embargo, la absorción también puede producirse en la capa dopada con p 31 o en la capa de contacto dopada con n 33.

15 **[0080]** La energía dada a un electrón para excitarlo desde la banda de valencia a la banda de conducción debe ser al menos igual al intervalo de banda del material. En consecuencia, al seleccionar adecuadamente el material de la zona activa 30, la zona activa 30 puede optimizarse para recibir radiación electromagnética de una longitud de onda determinada (ya que la energía de cada fotón depende de la longitud de onda). Si los fotones incidentes tienen una energía más alta que el intervalo de banda son absorbidos, los electrones generados deberán perder este exceso de energía en forma de calor antes de que alcancen el borde de la banda y puedan extraerse como energía eléctrica. Por otro lado, los fotones con una energía menor que el intervalo de banda no se absorberán y no habrá portadores fotogenerados para extraer. Como resultado, la selección de un intervalo de banda adecuado puede asegurar que se pueda extraer la energía eléctrica máxima para un fotón incidente de una longitud de onda determinada.

20 **[0081]** Los fotones que no son absorbidos en la zona activa 30 pasan por la capa de bloqueo de electrones 40 al DBR 50, donde son reflejados. Como resultado, los fotones se devuelven a la zona activa 30, donde tienen una oportunidad adicional para excitar electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción. En consecuencia, el DBR 50 aumenta la probabilidad de que un fotón determinado se convierta en un par de portadores de carga, ya que hay dos oportunidades para que el fotón sea absorbido por la zona activa 30.

30 **[0082]** La realización preferida que se muestra en las figuras 1 y 2 proporciona un dispositivo fotovoltaico eficaz diseñado para funcionar a  $1,55\mu\text{m}$ . El funcionamiento del dispositivo 1 se puede entender mejor en referencia a la figura 3. La figura 3 ilustra la energía de la banda de conducción,  $E_c$ , la energía de la banda de valencia  $E_v$ , la banda de conducción Fermi nivel  $F_n$  y la banda de valencia Fermi nivel  $F_p$  a través de la capa de ventana 20, la capa dopada con p 31, la capa de absorción dopada con n 32, la capa de contacto dopada con n 33 y la capa de bloqueo de electrones 40 del dispositivo 1 cuando está bajo iluminación.

40 **[0083]** En particular, la figura 3 ilustra las transiciones entre estas capas. Por ejemplo, la figura 3 muestra un desplazamiento de banda de valencia 301 en la interfaz de la capa dopada con p 31 y la capa de ventana 20. El desplazamiento de la banda de valencia 301 impide el flujo de agujeros entre la capa dopada con p 31 y la capa de ventana 20, reteniendo así los agujeros en la capa dopada con p para su extracción por el ánodo 70. En consecuencia, se evita que los agujeros alcancen la superficie del dispositivo 1 y se combinen con defectos en esta zona.

50 **[0084]** La figura 3 también ilustra la homounión 302 entre la capa dopada con p 31 y la capa de absorción dopada con n 31. Dado que estas capas tienen el mismo intervalo de banda, es relativamente fácil que los portadores de carga se crucen y, posteriormente, sean extraídos por el ánodo 70 y el cátodo 80.

60 **[0085]** Se puede ver un desplazamiento de banda de conducción 303 en la interfaz de la capa de contacto dopada con n 33 y la capa de bloqueo de electrones 40. Esto tiene el efecto de impedir la transferencia de electrones desde la capa de contacto dopada con n 33 a la capa de bloqueo de electrones 40. Como tales, los electrones se retienen dentro de la capa de contacto dopada con n 33 para la extracción por el cátodo 80.

70 **[0086]** La figura 4 muestra la respuesta de la densidad-tensión actual del dispositivo 1 cuando está iluminada por una luz láser de una longitud de onda de  $1,55\mu\text{m}$  a una potencia por unidad de superficie de  $1\text{ W/m}^2$ . En particular, la densidad de corriente del cortocircuito extraída del dispositivo 1 se ilustra en el eje y frente a la tensión a través del dispositivo 1 en el eje x. La zona sombreada 401 refleja el factor de relleno del dispositivo 1. El factor de relleno se define como la relación entre la potencia de salida máxima del dispositivo ( $V_{MP} \cdot J_{MP}$ ) y el producto de la tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ) y la densidad de corriente de cortocircuito ( $J_{SC}$ ), que representa una potencia de salida máxima teórica. Como tal, el factor de relleno es una calidad importante relacionada con el rendimiento del dispositivo 1. La eficacia de la realización preferida de la presente invención se puede calcular como 63,2565 %.

80 **[0087]** Las figuras 5A y 5B ilustran la reflectividad del DBR 50 en función de la longitud de onda. En particular, la figura 5A muestra la reflectividad de un DBR 50 formado por 20 pares de capas de InGaAsP e InP, mientras que la figura 5B muestra la reflectividad de un DBR 50 formado por 30 pares de capas de InGaAsP e InP. Según se ha mencionado anteriormente, la relación del índice de refracción para un DBR 50 de InGaAsP/InP es 3.48:3.17. Ambas figuras 5A y 5B ilustran que el DBR 50 se ha optimizado para su reflexión a  $1,55\mu\text{m}$ . De la comparación de las figuras 5A y 5B se puede observar que el DBR 50 tiene una reflectividad superior en esta longitud de onda y tiene 30 pares de capas de InGaAsP e InP. Los ejemplos descritos anteriormente utilizan un diseño p-en-n, por ejemplo, según se muestra en la figura 1, con el sustrato dopado con n. Sin embargo, como alternativa, también es posible un dispositivo

n-en-p.

**[0088]** Un LPC como se describe puede usarse en sistemas tales como un sistema de potencia solar basado en el espacio, un ejemplo del cual se muestra en la figura 6A, un sistema para la alimentación remota de un equipo, 5 un ejemplo del cual se muestra en la figura 6B, un sistema que suministra potencia de fibra óptica de forma remota, un ejemplo de la cual se muestra en la figura 6C y un sistema para la alimentación subcutánea de un equipo, como puede ser un marcapasos (no se muestra).

**[0089]** En el sistema que se muestra en la figura 6, los paneles solares 200 convierten la energía óptica del sol 10 210 en energía eléctrica que se utiliza para accionar un láser de alta potencia 220 (a 1550 nm) a bordo de un satélite sincrónico solar 230. El haz láser 240 se proyecta a la ubicación de destino 250 (por ejemplo, la Tierra, una base lunar u otro satélite que necesita potencia) donde la energía óptica del láser se convierte nuevamente en energía eléctrica utilizando una matriz LPC (no se muestra). Esto puede dar como resultado una potencia bajo demanda en cualquier momento y cualquier ubicación de destino equipada con la matriz LPC.

15 **[0090]** En el sistema que se muestra en la figura 6B, un equipo como por ejemplo un vehículo aéreo no tripulado (UAV) 300 puede equiparse con una matriz LPC y una línea de visión alimentada de forma remota con un haz láser 310 desde una fuente láser 320 de 1550 nm.

20 **[0091]** En el sistema que se muestra en la figura 6C, el equipo 400 que tiene una matriz LPC puede alimentarse de forma remota desde una fuente láser 410 de 1550 nm a través de una fibra óptica 420.

**[0092]** Aunque un láser se analiza anteriormente como una fuente de anchura de línea estrecha adecuada y se utiliza el término 'convertidor de potencia láser', existen otras fuentes y se pueden usar con un LPC, en función de 25 la aplicación, tal como es conocido por un experto en la materia, como los LED superluminiscentes o luz filtrada desde una fuente de banda ancha.

**[0093]** Se ha de entender que diversas modificaciones de las realizaciones preferidas y los principios genéricos y características descritas en este documento serán evidentes para los expertos en la técnica. La presente invención 30 no pretende estar limitada a la realización mostrada y dichas variaciones y modificaciones también se encuentran dentro del alcance de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo 'LPC' (1) de convertidor de potencia láser para recibir radiación electromagnética incidente a una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm, el dispositivo (1) que comprende:
- 5 un sustrato (60) que comprende InP; y una zona activa (30) que comprende una capa dopada con n (32, 33) y una capa dopada con p (31), las capas dopadas con n y dopadas con p (31,32, 33) que están formadas de InGaAsP, la zona activa (30) que está dispuesta para absorber fotones de radiación electromagnética que tienen una longitud de onda asociada de aproximadamente 1550 nm, en el que el InGaAsP es un entramado que se hace coincidir con el sustrato (60);
- 10 **caracterizado porque** el InGaAsP de la zona activa (30) es  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ , donde  $x = 0,948, 0,957, 0,965, 0,968, 0,972$  o  $0,976$  e  $y = 0,557, 0,553, 0,549, 0,547, 0,545$  o  $0,544$  respectivamente.
- 15 2. Un dispositivo (1) según la reivindicación 1 que comprende además un elemento reflectante (50) ajustado para reflejar la radiación electromagnética a una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm, en el que el elemento reflectante (50) es un reflector de Bragg Distribuido (50) que comprende capas alternantes de un primer material y un segundo material; el primer material está formado, preferentemente, del mismo material que el de la zona activa (30), y el segundo material está formado, preferentemente, del mismo material que el del sustrato (60); y el reflector de Bragg distribuido (50) es, preferentemente, un entramado que se hace coincidir con el sustrato (60).
3. Un dispositivo (1) según la reivindicación 2 en el que el reflector de Bragg distribuido (50) está dispuesto entre el sustrato (60) y la zona activa (30).
- 25 4. El dispositivo (1) según la reivindicación 2 o la reivindicación 3 que comprende además:
- un ánodo (70) en contacto directo con la capa dopada con p (31); y
- un cátodo (80) en contacto directo con la capa dopada con n (32, 33),
- 30 en el que el ánodo (70) y el cátodo (80) están dispuestos de manera que existe una vía óptica entre la zona activa (30) y el elemento reflectante (50) que no pasa por el ánodo (70) ni el cátodo (80); y en el que la capa dopada con n (32, 33) y la capa dopada con p (31) están, preferentemente, separadas en una primera dirección y el ánodo (70) y el cátodo (80) están separados en una segunda dirección perpendicular a la primera dirección.
- 35 5. Un dispositivo (1) según la reivindicación 4 en el que el ánodo (70) y el cátodo (80) están dispuestos en canales que se extienden desde una superficie del dispositivo (1) hasta la zona activa (30).
6. Un dispositivo (1) según la reivindicación 4 o la reivindicación 5 que comprende además una o más capas aislantes (90) dispuestas entre la sección dopada con p de la zona activa (30) y el cátodo (80) y/o entre la zona dopada con n de la zona activa (30) y el ánodo (70).
- 40 7. Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la capa dopada con n (32, 33) comprende una capa de absorción dopada con n (32) y una capa de contacto dopada con n (33), y en el que el cátodo (80) está en contacto directo con la capa de contacto dopada con n (33).
- 45 8. Un dispositivo (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una capa de bloqueo de electrones (40) dispuesta entre la zona activa (30) y el sustrato (60), en el que la composición de la capa de bloqueo de electrones (40) es de manera que existe un desplazamiento de banda de conducción en una interfaz entre la zona activa (30) y la capa de bloqueo de electrones (40).
- 50 9. Una matriz de dispositivos (1) LPC que comprende:
- una pluralidad de dispositivos (1) LPC según cualquier reivindicación anterior;
- 55 una pluralidad de medios de conexión dispuestos para conectar los dispositivos (1) dentro de la matriz.
10. Un sistema para recibir radiación electromagnética, el sistema que comprende:
- 60 un dispositivo (1) LPC según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 o una matriz de dispositivos (1) LPC según la reivindicación 9.
11. Un sistema según la reivindicación 10 que comprende además una fibra óptica a partir de la cual el/los dispositivo(s) (1) LPC está(n) dispuesto(s) para recibir la radiación electromagnética.
- 65

12. Un sistema según la reivindicación 10 en el que el sistema es un sistema de haces de potencia láser.
13. Un sistema según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, que comprende además una fuente de anchura de línea estrecha dispuesta para transmitir la radiación electromagnética; en el que la fuente de anchura de línea estrecha es preferentemente un láser.
14. Un procedimiento para convertir la radiación electromagnética en potencia eléctrica, el procedimiento que comprende las etapas de:
- 10 recibir en un dispositivo (1) LPC radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm; absorber, en una zona activa (30) de InGaAsP del entramado del dispositivo (1) LPC que se hace coincidir con un sustrato (60) de InP del dispositivo (1), fotones de radiación electromagnética que tienen una longitud de onda asociada de aproximadamente 1550 nm;
- 15 extraer energía eléctrica del dispositivo (1) LPC;
- caracterizado porque** el InGaAsP de la zona activa (30) es  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_x\text{P}_{1-x}$ , donde  $x = 0,948, 0,957, 0,965, 0,968, 0,972$  o  $0,976$  e  $y = 0,557, 0,553, 0,549, 0,547, 0,545$  o  $0,544$  respectivamente.
- 20 15. Un procedimiento de transmisión de potencia eléctrica, el procedimiento que comprende las etapas de:
- introducir potencia eléctrica a una fuente de anchura de línea estrecha, en el que la fuente de anchura de línea estrecha es preferentemente un láser;
- 25 emitir desde la fuente de anchura de línea estrecha la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm; y
- convertir la radiación electromagnética en potencia eléctrica utilizando el procedimiento según la reivindicación 14.
- 30

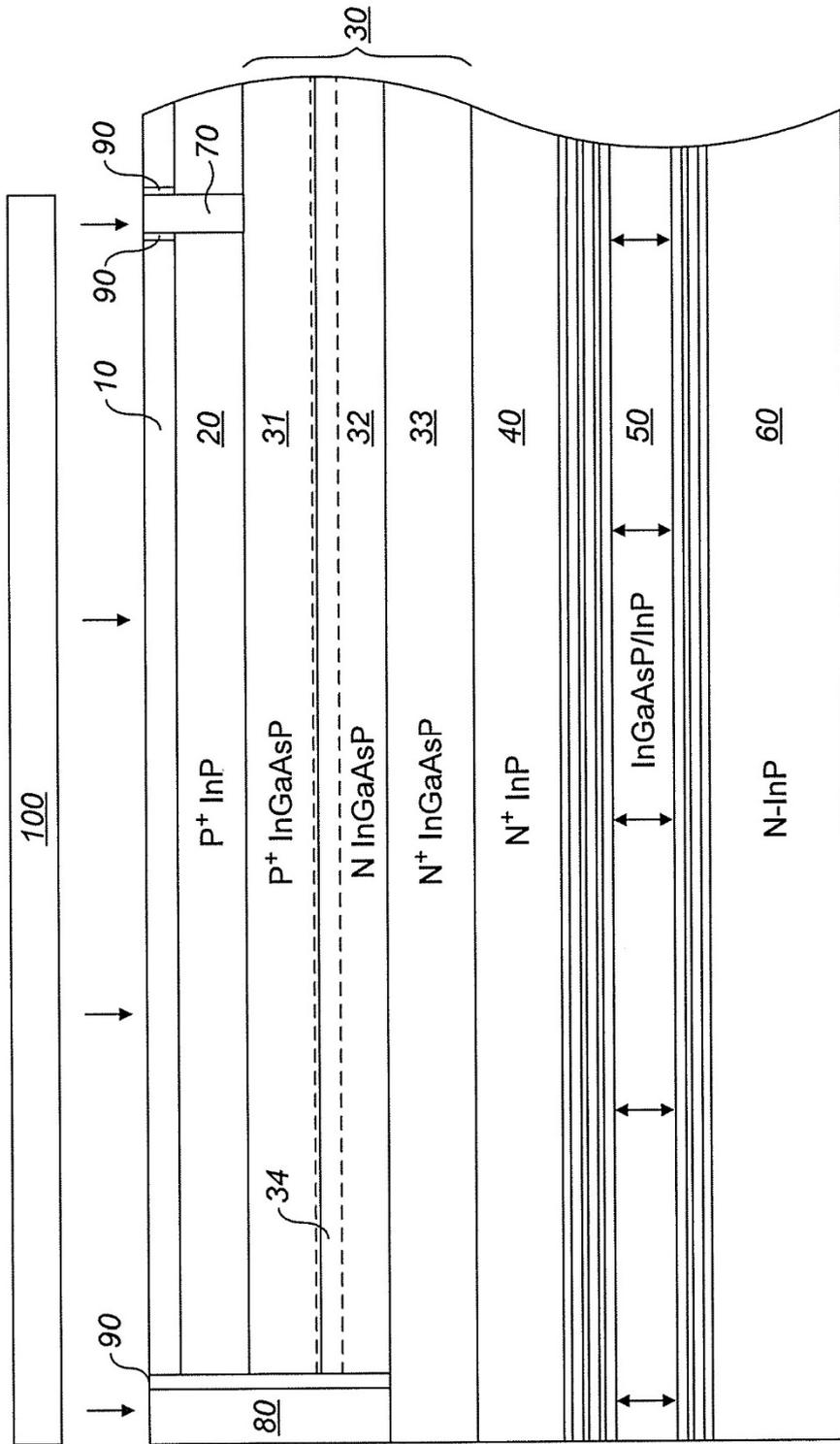
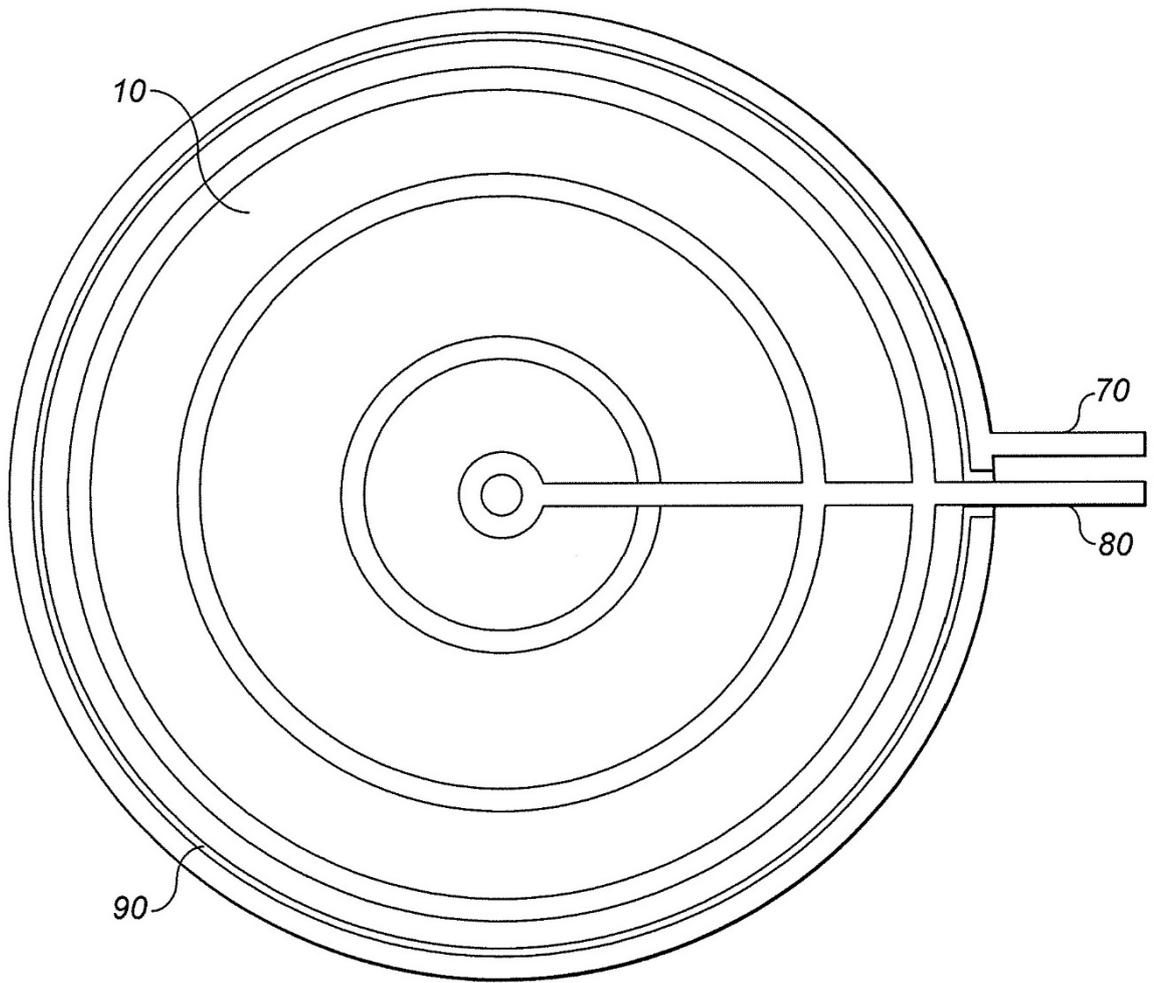
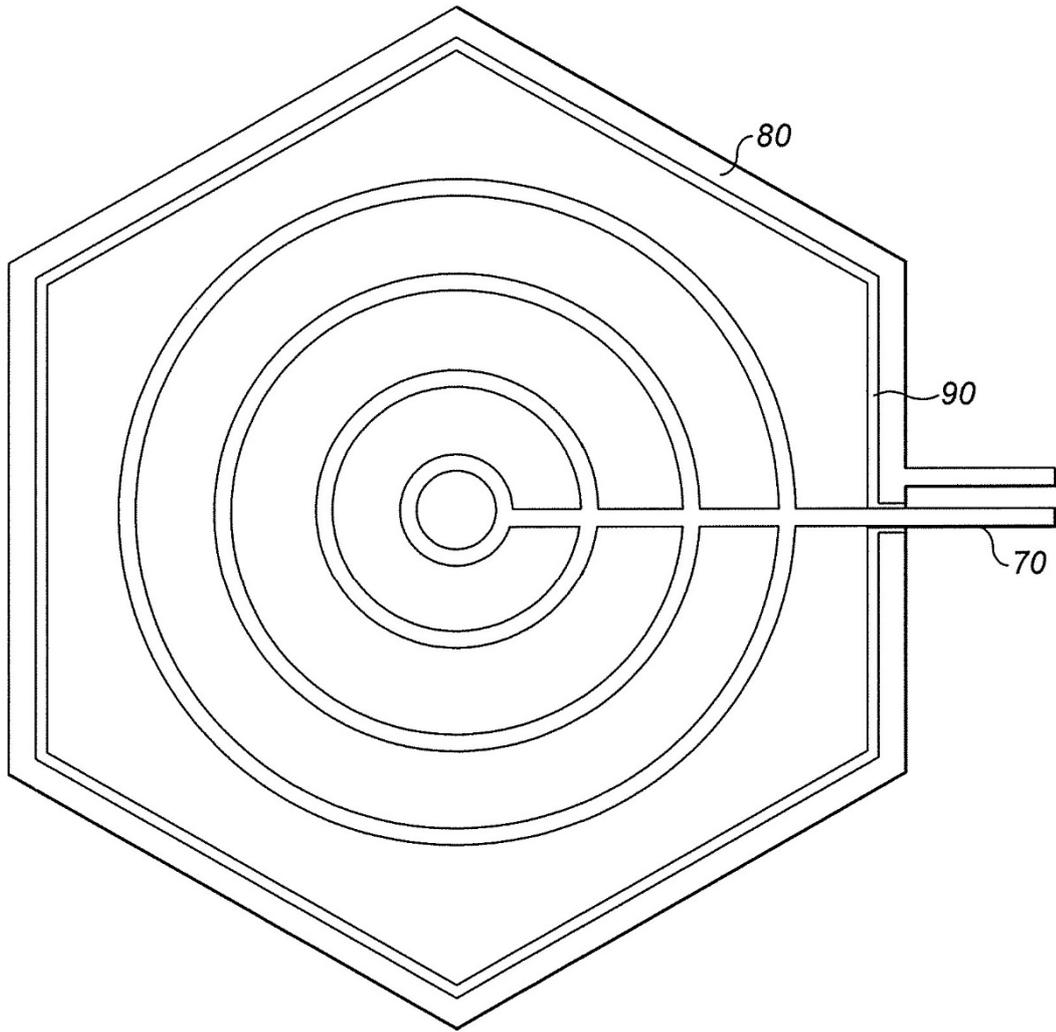


FIG. 1



*FIG. 2A*



**FIG. 2B**

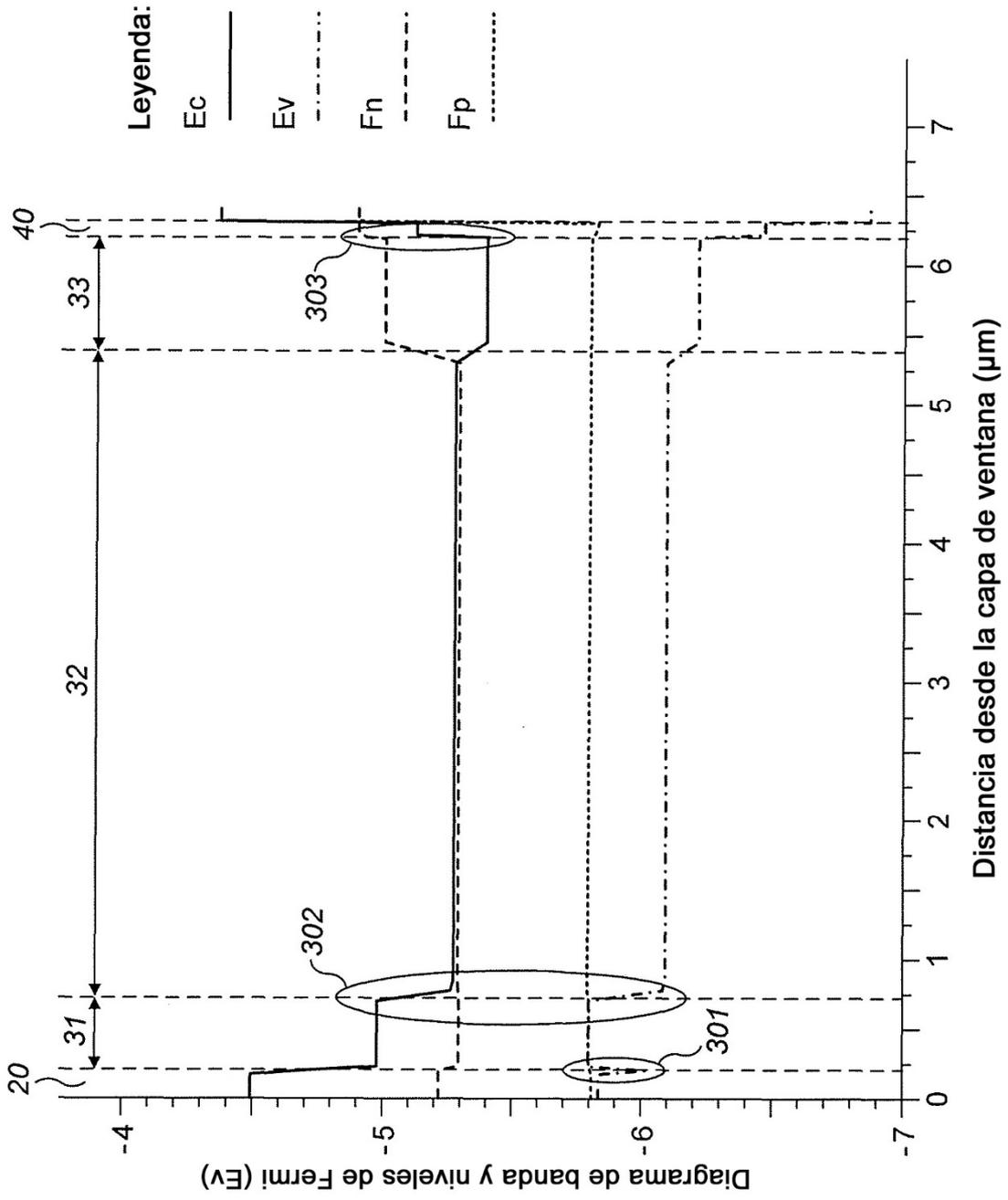


FIG. 3

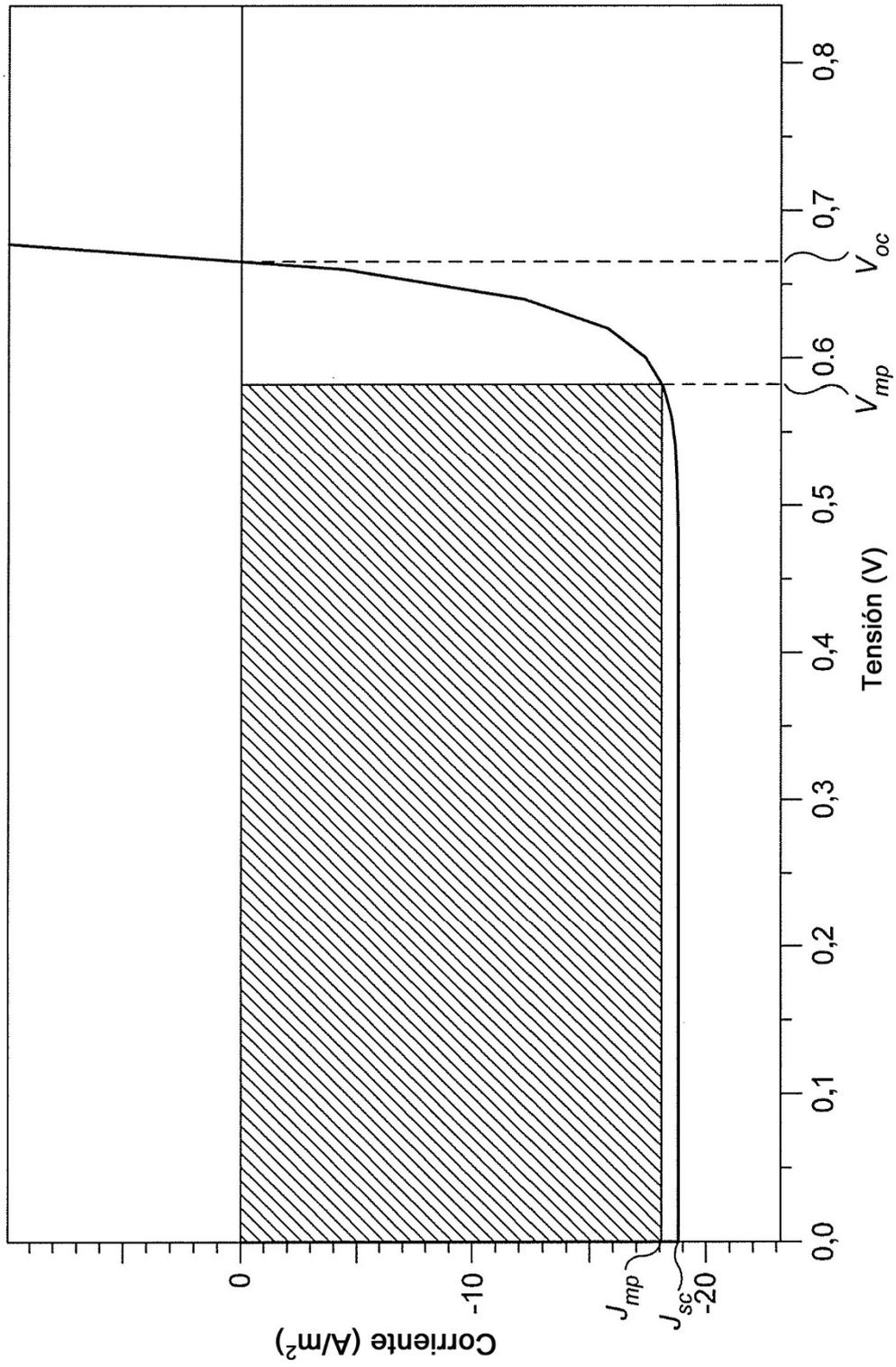
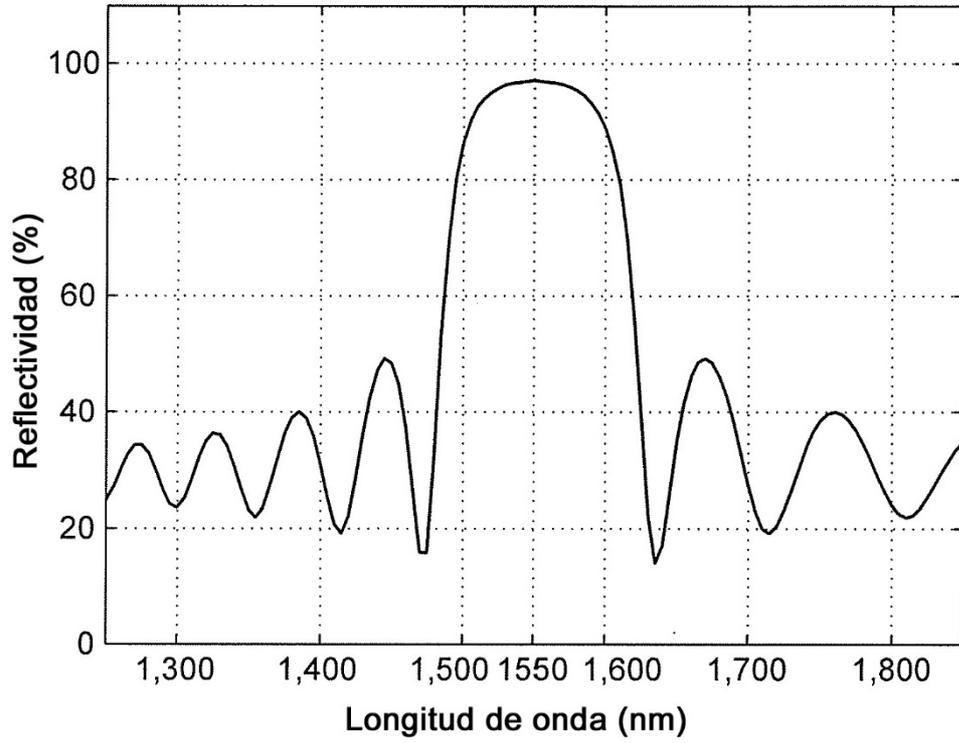
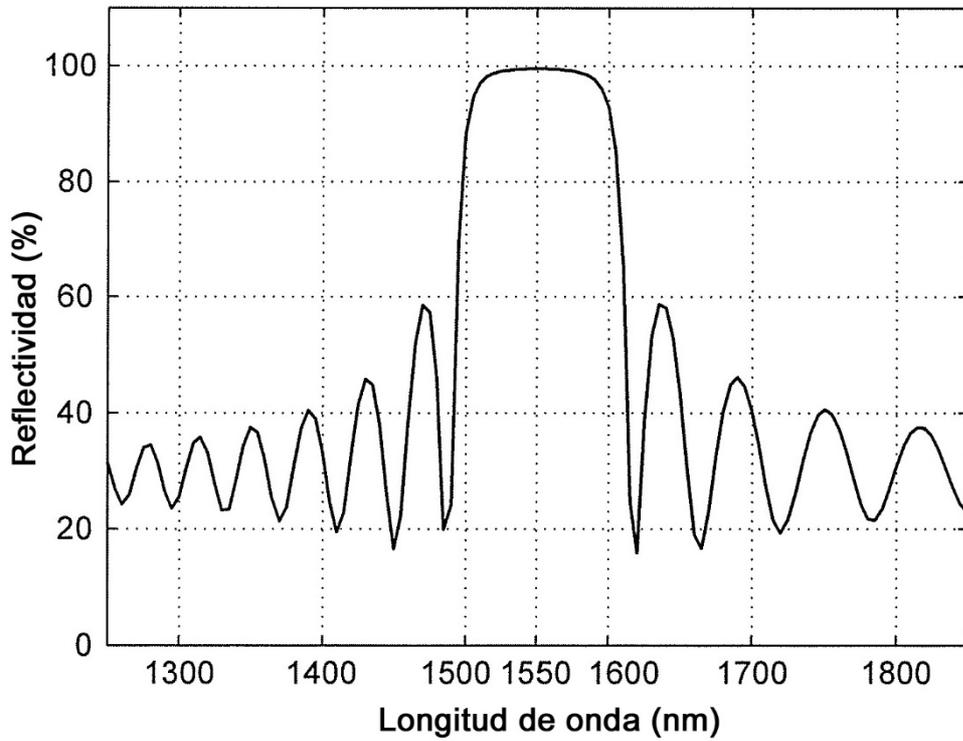


FIG. 4

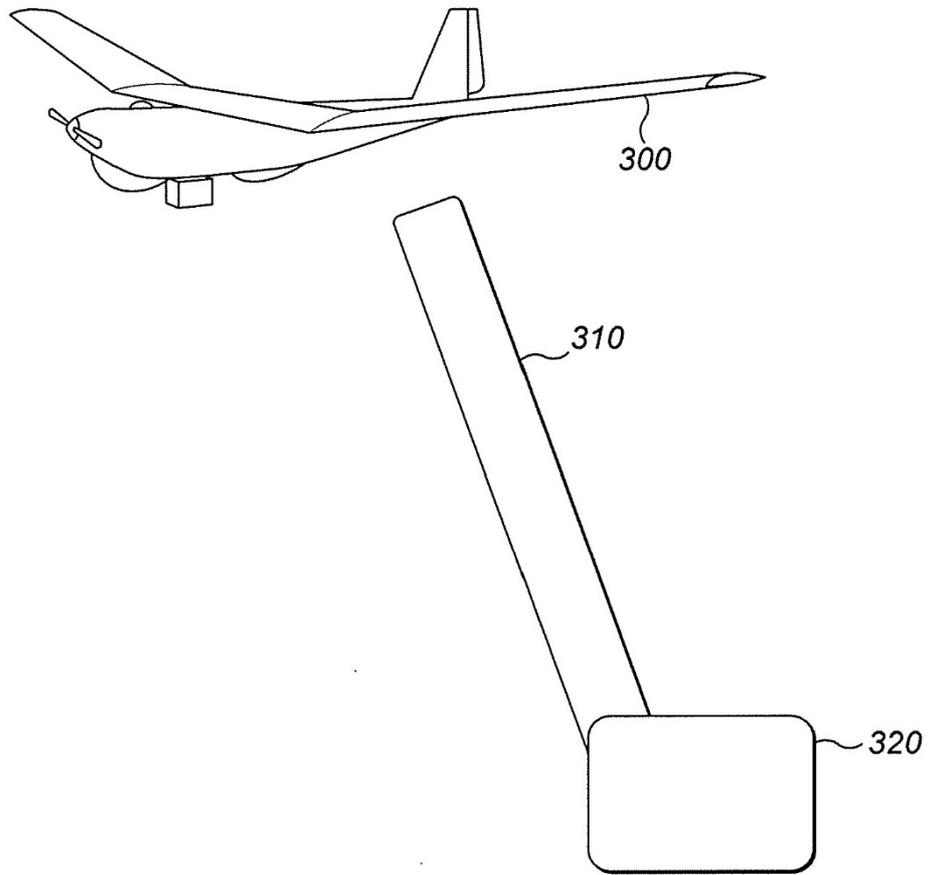


**FIG. 5A**

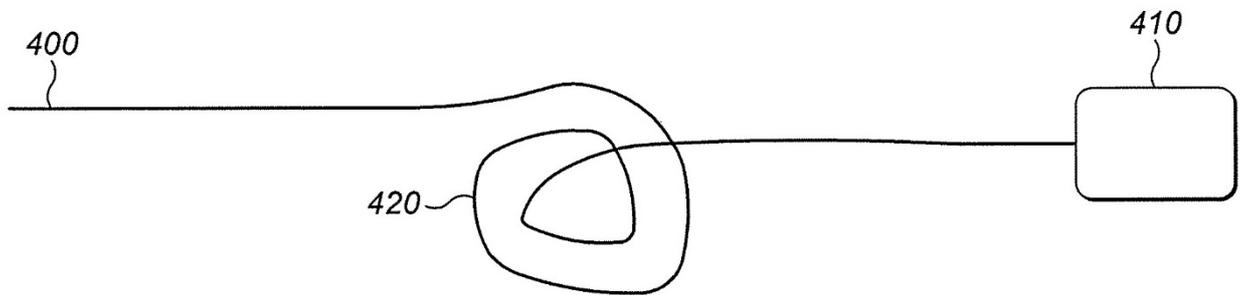


**FIG. 5B**





**FIG. 6B**



**FIG. 6C**