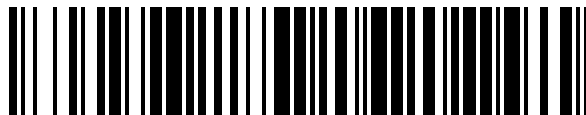


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 077 182**

21 Número de solicitud: 201230279

51 Int. Cl.:

H01L 31/00

(2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22

Fecha de presentación: **13.03.2012**

71

Solicitante/s:
EMCORE SOLAR POWER, INC
10420 Research Road, SE
87123 Albuquerque, US

30

Prioridad:
10.05.2011 US 13/104,451

72

Inventor/es:
HOFFMAN, Richard W., Jr.;
PATEL, Pravin y
VARGHESE, Tansen

43

Fecha de publicación de la solicitud: **14.06.2012**

74

Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

54

Título: **Una disposición de célula solar fotovoltaica**

ES 1 077 182 U

DESCRIPCIÓN

Una disposición de célula solar fotovoltaica

5 **Antecedentes de la invención**

1. Campo de la invención

10 La presente invención se refiere en general al diseño de células solares tanto para el espacio como para sistemas de generación solar terrestre de concentrador para la conversión de la luz solar en energía eléctrica y, más particularmente, a una disposición que incluye una configuración de rejilla de la célula solar.

Descripción de la técnica relacionada

15 Las células solares de silicio disponibles comercialmente para aplicaciones de generación solar terrestre tienen rendimientos que varían desde el 8 al 15%. Las células solares de semiconductor compuestas en base a compuestos III-V, tienen una eficiencia del 28% en condiciones de funcionamiento normal. Más aún, es bien conocido que la energía solar de concentración sobre células fotovoltaicas de semiconductor de compuestos III-V incrementa el rendimiento de las células hasta un rendimiento superior al 37% bajo concentración.

20 Los sistemas de generación solar terrestre usan actualmente células solares de silicio debido a su bajo coste y amplia disponibilidad. Sin embargo las células solares de semiconductor de compuestos III-V se han usado ampliamente en aplicaciones de satélites, en las que son más importantes los rendimientos de potencia en relación al peso que las consideraciones de coste por vatio en la selección de tales dispositivos, tales células solares de semiconductor III-V no se han diseñado aún para una cobertura óptima del espectro solar presente en la superficie de la tierra (conocido como masa de aire 1,5 o AM1,5D).

25 En el diseño de células solares tanto de silicio como de semiconductor de compuestos III-V, se coloca típicamente un contacto eléctrico en un lado delantero o absorbente de la luz de la célula solar y se coloca un segundo contacto en el lado posterior de la célula. Se dispone un semiconductor fotoactivo en un lado absorbente de la luz del sustrato e incluye una o más uniones p-n, que crean un flujo de electrones según se absorbe la luz dentro de la célula. Las líneas de la rejilla conductora se extienden sobre la superficie superior de la célula para capturar este flujo de electrones que entonces se conectan sobre el contacto frontal o terminal de unión.

30 Un aspecto importante de la especificación del diseño de una célula solar es la estructura física (composición, banda prohibida y grosor de la capa) de las capas de material semiconductor que constituyen la célula solar. Las células solares se fabrican frecuentemente en estructuras verticales, de unión múltiple para utilizar materiales con diferentes bandas prohibidas y convertir tanta parte del espectro solar como sea posible. Un tipo de estructura de unión múltiple útil en el diseño de acuerdo con la presente invención es la estructura de célula solar de triple unión que consiste en una célula inferior de germanio, una célula media de arseniuro de galio (GaAs) y una célula superior de fosfuro de galio indio (InGaP).

Sumario de la invención

45 1. Objetivos de la invención

Es un objetivo de la presente invención proporcionar una célula solar de unión múltiple de semiconductores de compuestos III-V mejorada para aplicaciones de generación terrestre con una configuración de rejilla que permita a la célula solar producir por encima de 35 milivatios de potencia de corriente continua de pico por centímetro cuadrado de área de célula por sol con una irradiación solar AM1,5D.

50 Es un objetivo de la presente invención proporcionar una célula solar de unión múltiple de semiconductores de compuestos III-V mejorada para aplicaciones de generación espaciales con una configuración de rejilla que permita a la célula solar producir por encima de 35 milivatios de potencia de corriente continua de pico por centímetro cuadrado de área de célula por sol con una irradiación solar AM0.

55 Es otro objetivo más de la invención proporcionar una estructura de rejilla en la superficie frontal de una célula solar de semiconductores III-V para adaptarse a una corriente elevada para aplicaciones de generación terrestre fotovoltaica de concentrador.

60 Algunas implementaciones pueden conseguir menos que todos los objetivos precedentes.

2. Características de la invención

65 Brevemente, y en términos generales, la presente invención proporciona una disposición de células solares fotovoltaicas de concentrador para la producción de energía a partir del sol que comprende una lente concentradora para producción de una concentración de luz mayor que 500X y una célula solar en el recorrido del haz de luz concentrado, incluyendo la célula solar un sustrato de germanio que incluye una primera unión fotoactiva y la formación de una subcélula solar inferior; una célula media de arseniuro de galio dispuesta sobre dicho sustrato; una célula superior de fosfuro de galio indio dispuesta sobre dicha célula media y que tiene una banda prohibida para maximizar la absorción en la región del espectro AM1,5 y una rejilla superficial dispuesta sobre dicha célula superior que incluye una pluralidad de líneas de rejilla separadas entre sí, en la que las líneas de rejilla tienen un grosor mayor que 7 micrómetros y cada línea de rejilla tiene una sección transversal con la forma de un trapecio con un área de sección transversal de entre 45 y 55 micrómetros cuadrados.

- En otro aspecto, la presente divulgación proporciona una célula solar fotovoltaica para la producción de energía a partir del sol que incluye un sustrato de germanio que incluye una primera unión fotoactiva y la formación de una subcélula solar inferior; una célula media de arseniuro de galio dispuesta sobre dicho sustrato; una célula superior de fosfuro de galio indio dispuesta sobre dicha célula media y una rejilla superficial que incluye una pluralidad de líneas de rejilla separadas entre sí, en la que las líneas de rejilla tienen un grosor mayor de 7 micrómetros y cada línea de rejilla tiene una sección transversal con la forma de un trapecio con un área de sección transversal de entre 45 y 55 micrómetros cuadrados.
- En otro aspecto, la presente divulgación proporciona una célula solar fotovoltaica para la producción de energía a partir del sol que comprende un sustrato de germanio que incluye una primera unión fotoactiva y la formación de una subcélula solar inferior; una célula media de arseniuro de galio dispuesta sobre dicho sustrato; una célula superior de fosfuro de galio indio dispuesta sobre dicha célula media y una rejilla superficial dispuesta sobre dicha célula superior que incluye una pluralidad de líneas de rejilla separadas entre sí, en la que las líneas de rejilla tienen un grosor mayor de 7 micrómetros.
- En algunas realizaciones, las líneas de la rejilla superficial tienen una forma de sección transversal de trapecio con un ancho en la parte superior de aproximadamente 4,5 micrómetros y un ancho en la inferior de aproximadamente 7 micrómetros.
- En algunas realizaciones, las líneas de rejilla superficial tienen un paso de centro a centro de aproximadamente 100 micrómetros.
- En algunas realizaciones, las líneas de rejilla superficial consisten en una pluralidad de líneas de rejilla paralelas que cubren la superficie superior.
- En algunas realizaciones, las líneas de rejilla superficial tienen un área superficial agregada que cubre al menos el 5% del área superficial de la célula superior, pero menos del 10% del área superficial.
- En algunas realizaciones, las líneas de rejilla superficial tienen un área superficial agregada del patrón de rejilla que cubre aproximadamente el 6% del área superficial.
- En algunas realizaciones, la célula solar tiene una tensión en circuito abierto (V_{oc}) de al menos 3,0 voltios, una responsividad en cortocircuito de al menos 0,13 amperios por vatio, un factor de relleno (FF) de al menos 0,70 y producen por encima de 35 milivatios de potencia en corriente continua de pico por centímetro cuadrado de área de célula, con una irradiación solar AM1,5 con una eficiencia de conversión por encima del 35% por sol.
- En algunas realizaciones, la célula solar tiene una tensión en circuito abierto (V_{oc}) de al menos 3,0 voltios, una respuesta en cortocircuito de al menos 0,13 amperios por vatio, un factor de relleno (FF) de al menos 0,70 y producen por encima de 35 milivatios de potencia en corriente continua de pico por centímetro cuadrado de área de célula, con una irradiación solar AM0 con una eficiencia de conversión por encima del 35% por sol.
- En algunas realizaciones, la banda prohibida de las subcélulas superior, media e inferior es de 1,9 eV, 1,4 eV y 0,7 eV, respectivamente.
- En algunas realizaciones, la subcélula superior tiene una resistencia laminar de menos de 300 ohmios/cuadrado.
- En algunas realizaciones, la resistencia laminar de la subcélula superior es de menos de 200 ohmios/cuadrado.
- En algunas realizaciones, las capas de diodos túnel dispuestas entre las subcélulas de la célula solar tienen un grosor adaptado para soportar una densidad de corriente a través de los diodos túnel de entre 15 y 30 amperios/centímetro cuadrado.
- Algunas implementaciones de la presente invención pueden incorporar o implementar menos de los aspectos y características indicados en los sumarios precedentes.

Breve descripción de los dibujos

- La FIG. 1 es una vista en sección transversal altamente ampliada de una célula solar terrestre construida de acuerdo con la técnica anterior;
- la FIG. 2 es una vista en sección transversal altamente ampliada de una célula solar terrestre construida de acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación;
- la FIG. 3 es un gráfico que muestra la eficiencia de una célula solar bajo una iluminación de 500 soles con un espectro AM1,5D con un área superficial de un centímetro cuadrado de célula solar en función del grosor de las líneas de la rejilla y
- la FIG. 4 es un gráfico que muestra la eficiencia de una célula solar bajo una iluminación de un sol con un espectro AM0 con un área superficial de sesenta centímetros cuadrados en función del grosor de las líneas de rejilla.

Descripción de la realización preferida

Se describirán ahora los detalles de la presente invención incluyendo aspectos de ejemplo y realizaciones de la

misma. Con referencia a los dibujos y la descripción a continuación, se usan números de referencia iguales para identificar elementos iguales o funcionalmente similares y se pretende ilustrar las características principales de las realizaciones de ejemplo en una forma diagramática altamente simplificada. Más aún, no se pretende que los dibujos representen cada una de las características de la realización real ni las dimensiones relativas de los elementos representados y no están dibujados a escala.

El diseño de una estructura de semiconductor típica de una célula solar de semiconductor de compuestos III-V de triple unión se describe más particularmente en la Patente de Estados Unidos N° 6.680.432, incorporada en la presente por referencia.

Como se muestra en el ejemplo ilustrado de la FIG. 1, la subcélula inferior 10 incluye un sustrato 11, 12 formado por germanio ("Ge") de tipo p, cuya parte inferior sirve también como una capa base de la subcélula 10. Está formada una capa o lámina de contacto metálico 50 sobre la parte inferior de la capa base 11 para proporcionar un contacto eléctrico a la célula solar de unión múltiple. La subcélula inferior 10 incluye además, por ejemplo, una región emisora de Ge de tipo n 12 y una capa de nucleación de tipo n 13. La capa de nucleación 13 se deposita sobre el sustrato 11, 12, y la capa emisora 12 se forma en el sustrato de Ge mediante difusión de dopantes desde las capas superiores dentro del sustrato de Ge, cambiando de ese modo la parte superior 12 del sustrato de germanio de tipo p en una región 12 de tipo n. Se deposita una capa de arseniuro de galio altamente dopada 14 de tipo n sobre la capa de nucleación 13 y es una fuente de dopantes de arsénico dentro de la región emisora 12.

Aunque el sustrato de crecimiento y la capa base 11 son preferentemente un sustrato de crecimiento y capa base de Ge de tipo p, se pueden usar también otros materiales semiconductores como sustrato de crecimiento y capa base, o solamente como sustrato de crecimiento. Ejemplos de tales sustratos incluyen, pero sin limitarse a, GaAs, InP, GaSb, InAs, InSb, GaP, Si, SiGe, SiC, Al₂O₃, Mo, acero inoxidable, vidrio de cal-sodio y SiO₂.

Se pueden depositar capas de arseniuro de aluminio galio ("AlGaAs") de tipo p altamente dopado y de unión túnel ("GaAs") 14, 15 sobre la capa de nucleación 13 para formar un diodo túnel y proporcionar una trayectoria de baja resistencia entre la subcélula inferior y la subcélula media 20.

La subcélula media 20 incluye una capa 16 de campo superficial posterior ("BSF") de arseniuro de galio aluminio ("AlGaAs") de tipo p altamente dopado, una capa base de InGaAs de tipo p, una capa emisora 18 de fosfuro de indio galio ("InGaP₂") de tipo n altamente dopado y una capa de ventana 19 de fosfuro de aluminio indio ("AlInP₂") de tipo n altamente dopado.

La capa de ventana tiene típicamente el mismo tipo de dopado que la emisora, pero con una concentración de dopado más elevada que la emisora. Más aún, es deseable a menudo que la capa de ventana tenga una banda prohibida mayor que la de la emisora, para suprimir la fotogeneración de portadores minoritarios y la inyección en la ventana, reduciendo de ese modo la recombinación que tendría lugar en caso contrario en la capa de ventana. Nótese que se puede usar una variedad de materiales semiconductores diferentes para las capas de ventana, emisora, base y/o BSF de la célula fotovoltaica, incluyendo AlInP, AlAs, AlP, AlGaInP, AlGaAsP, AlGaInAs, AlGaInPAs, GaInP, GaInAs, GaInPAs, AlGaAs, AlInAs, AlInPAs, GaAsSb, AlAsSb, GaAlAsSb, AlInSb, GaInSb, AlGaInSb, AlN, GaN, InN, GaInN, AlGaInN, GaInNAs, AlGaInNAs, ZnSSe, CdSSe y otros materiales y cayendo aún dentro del espíritu de la presente invención.

La capa base 17 de InGaAs de la subcélula media 20 puede incluir, por ejemplo, aproximadamente el 1,5% de indio. Se pueden usar asimismo otras composiciones. La capa base 17 se forma sobre la capa BSF 16 después de que la capa BSF se deposite sobre las capas de unión túnel 14, 15 de la subcélula inferior 10.

La capa BSF 16 se proporciona para reducir las pérdidas por recombinación en la subcapa media 20. La capa BSF 16 conduce a los portadores minoritarios desde una región altamente dopada cercana a la superficie posterior para minimizar el efecto de pérdidas por recombinación. Por ello, la capa BSF 16 reduce las pérdidas por recombinación en el lado posterior de la célula solar y reduce de ese modo la recombinación en la interfaz capa base/capa BSF. La capa de ventana 19 se deposita sobre la capa emisora 18 de la subcélula media 20 después de que se deposite la capa emisora. La capa de ventana 19 en la subcélula media 20 también ayuda a reducir las pérdidas por recombinación y mejora la pasivación de la superficie de la célula de las uniones subyacentes.

Antes de depositar las capas de la célula superior 30, se pueden depositar capas de unión túnel 21, 22 de InAlP₂ de tipo n altamente dopado e InGaP₂ de tipo p, respectivamente, sobre la subcélula media 20, formando un diodo túnel.

En la realización de una célula solar terrestre de alta concentración, las capas de diodos túnel dispuestas entre subcélulas tienen un grosor adaptado para soportar una densidad de corriente a través de los diodos túnel de entre 15 y 30 amperios/centímetro cuadrado.

En el ejemplo ilustrado, la subcélula superior 30 incluye una capa BSF 23 de fosfuro de aluminio galio indio ("InGaAlP") de tipo p altamente dopado, una capa base de InGaP₂ de tipo p, una capa emisora 25 de InGaP₂ de tipo n altamente dopado y una capa de ventana de InAlP₂ de tipo n altamente dopado. La capa base 24 de la subcélula superior 30 se deposita sobre la capa BSF 23 después de que se forme la capa BSF 23 sobre las capas de unión túnel 21, 22 de la subcélula media 20. La capa de ventana 26 se deposita sobre la capa emisora 25 de la subcélula superior después de que se forme la capa emisora 25 sobre la capa base 24. Se puede depositar una capa de cubierta 27 y modelada en regiones de contacto separadas sobre la capa de ventana 26 de la subcélula superior 30.

La capa de cubierta 27 sirve como un contacto eléctrico desde la subcélula superior 30 hasta la capa de la rejilla metálica 40. La resistencia laminar de la célula superior es menor de 300 ohmios/cuadrado y en algunas realizaciones es de aproximadamente de 200 ohmios/cuadrado. La capa de cubierta dopada 27 puede ser una capa

de semiconductor tal como, por ejemplo, una capa de GaAs o InGaAs. Se puede proporcionar también una cubierta antirreflectante 28 sobre la superficie de la capa de ventana 26 entre las regiones de contacto de la capa de cubierta 27.

5 Las líneas de rejilla 40 en las células solares de la técnica anterior se extendían típicamente entre dos embarrados en los lados opuestos de la célula. En la técnica anterior, las líneas de rejilla tenían típicamente un grosor o altura de 5 micrómetros o menos, un ancho de aproximadamente 5 micrómetros y un paso (es decir, la distancia entre centros de líneas de rejilla adyacentes) de aproximadamente 100 micrómetros. El área superficial agregada del patrón de rejilla cubría entre el 5,0% y el 10,0% del área superficial de la célula superior.

10 La célula solar de la presente divulgación, como se muestra en el ejemplo ilustrado de la FIG. 2, tiene sustancialmente las mismas capas semiconductoras 11 a 27, capa de contacto metálica 50 y capa de recubrimiento antirreflectante 28, que las de la célula solar de la FIG. 1 y tal descripción no necesita ser repetida aquí.

15 En algunas realizaciones de la presente divulgación, las líneas de rejilla se extienden entre dos embarrados en los lados opuestos de la célula. En alguna realizaciones, cada línea de rejilla 45 puede tener una sección transversal con la forma de un trapecio con un área de sección transversal entre 45 y 55 micrómetros cuadradas, estando adaptado por lo tanto el tamaño de cada conductor para la conducción de la corriente relativamente alta creada por la célula solar bajo alta concentración.

20 Las líneas de rejilla 45 tienen un grosor o altura de 7 micrómetros o más, un ancho de aproximadamente 5 micrómetros y un paso (es decir, la distancia entre los centros de líneas de rejilla adyacentes) de aproximadamente 100 micrómetros. En algunas realizaciones, las líneas de rejilla tienen una forma de sección transversal de trapecio con un ancho en la parte superior de aproximadamente 4,5 micrómetros y un ancho de la inferior de aproximadamente 7 micrómetros.

25 El área superficial agregada del patrón de rejilla cubre entre el 5,0% y el 10,0% del área superficial de la célula superior. El patrón de rejilla y las dimensiones de línea se seleccionan para transportar la corriente relativamente alta producida por la célula solar. En algunas realizaciones, el área superficial agregada del patrón de rejilla cubre el 6% del área superficial de la célula superior.

30 En algunas realizaciones, tales como para aplicaciones de generación terrestre, se puede disponer una lente de concentración 60 u otra óptica por encima de la célula solar y usarla para enfocar la luz solar incidente hasta una magnificación de 500X o más sobre la superficie de la célula.

35 En algunas realizaciones, la célula solar resultante tiene bandas prohibidas de 1,9 eV, 1,4 eV y 0,7 eV para las subcélulas superior, media e inferior. En algunas realizaciones, la célula solar tiene una tensión en circuito abierto (V_{oc}) de al menos 3,0 voltios, una responsividad en cortocircuito de al menos 0,13 amperios por vatio, un factor de relleno (FF) de al menos 0,70 y una eficiencia de al menos el 35% bajo una masa de aire 1,5 (AM1.5D) o espectro terrestre similar a 25 grados centígrados, cuando se ilumina mediante luz solar concentrada por un factor que excede de 500X, de modo que produzca por encima de 35 milivatios de potencia en corriente continua de pico por centímetro cuadrado de área de célula.

40 La FIG. 3 es un gráfico que muestra la eficiencia de una célula solar bajo una iluminación de 500 soles con un espectro AM1,5D con un área superficial de un centímetro cuadrado de célula solar en función del grosor de las líneas de rejilla. Tal célula solar (identificada como un modelo CTJ) es adecuada para aplicaciones terrestres en sistemas fotovoltaicos de concentrador que usan lentes u otras ópticas para enfocar los haces solares incidentes sobre la célula con una magnificación de 500 veces o más. El uso de líneas de rejilla gruesas (tal como un grosor de 7 micrómetros o más) da como resultado una mejora sustancial en la eficiencia de la célula. Las limitaciones de la litografía y consideraciones de procesamiento pueden hacer la conversión del grosor de rejilla en el extremo superior del gráfico (es decir diez micrómetros o más) menos práctica desde un punto de vista de la producción o fiabilidad usando una tecnología de producción actual, pero esto no debería desmerecer las enseñanzas de la presente divulgación.

45 La FIG. 4 es un gráfico que muestra la eficiencia de una célula solar bajo una iluminación de un sol con un espectro AM0 con un área superficial de sesenta centímetros cuadrados en función del grosor de las líneas de rejilla. Tal célula solar (identificada como un modelo ZTJ) es adecuada para aplicaciones especiales en sistemas fotovoltaicos de un sol (es decir, no emplean magnificación de los haces solares incidentes). El uso de líneas de rejilla gruesas (tal como un grosor de 7 micrómetros o más) da como resultado una mejora sustancial en la eficiencia de la célula. Las limitaciones de la litografía y consideraciones de procesamiento pueden hacer de los logros del grosor de rejilla en el extremo superior del gráfico (es decir diez micrómetros o más) menos prácticos desde un punto de vista de la producción o fiabilidad usando una tecnología de producción actual, pero esto no debería desmerecer las enseñanzas de la presente divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición de célula solar fotovoltaica para la producción de energía a partir del sol que comprende:

- 5 un sustrato de germanio (11, 12) que incluye una primera unión fotoactiva y la formación de una subcélula solar inferior (10);
una subcélula media de arseniuro de galio (20) dispuesta sobre dicho sustrato (11, 12);
una subcélula superior de fosfuro de galio indio (30) dispuesta sobre dicha subcélula media y
10 una rejilla superficial dispuesta sobre dicha subcélula superior (30) que incluye una pluralidad de líneas de rejilla separadas entre sí (45),
caracterizada porque
las líneas de rejilla tienen un grosor mayor de 7 micrómetros y cada línea de rejilla (45) tiene una sección transversal con la forma de un trapecio con un área de sección transversal de entre 45 y 55 micrómetros cuadrados.
- 15 2. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizada porque la forma de trapecio tiene un ancho en la parte superior de aproximadamente 4,5 micrómetros y un ancho en la inferior de aproximadamente 7 micrómetros.
- 20 3. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizada porque las líneas de rejilla (45) tienen un paso de centro a centro de aproximadamente 100 micrómetros.
- 25 4. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizada porque el patrón de rejilla consiste en una pluralidad de líneas de rejilla paralelas (45) que cubren la superficie superior.
5. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizada porque el área superficial agregada del patrón de rejilla cubre al menos el 5% del área superficial de la subcélula superior (30), pero menos del 10% del área superficial de la subcélula superior (30).
- 30 6. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 5, caracterizada porque el área superficial agregada del patrón de rejilla cubre aproximadamente el 6% de dicha área superficial de la subcélula superior (30).
7. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizada porque la banda prohibida de las subcélulas superior, media e inferior es de 1,9 eV, 1,4 eV y 0,7 eV, respectivamente.
- 35 8. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 1, caracterizada porque la subcélula superior (30) tiene una resistencia laminar de menos de 300 ohmios/cuadrado.
9. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 8, caracterizada porque la subcélula superior (30) tiene una resistencia laminar de aproximadamente 200 ohmios/cuadrado.
- 40 10. Una disposición como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque comprende además
45 una lente de concentración (60) para producir una concentración de luz de más de 500X; porque la subcélula superior (30) está dispuesta en el recorrido de la de luz concentrada;
porque dicha subcélula superior (30) tiene una banda prohibida para maximizar la absorción en la región espectral AM1,5 y porque dichas líneas de rejilla (45) están adaptadas para la conducción de la corriente relativamente alta creada por la célula solar.
- 50 11. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 10, caracterizada porque la célula solar tiene una tensión en circuito abierto (V_{oc}) de al menos 3,0 voltios, una responsividad en cortocircuito de al menos 0,13 amperios por vatio, un factor de relleno (FF) de al menos 0,70 y produce por encima de 35 milivatios de potencia en corriente continua de pico por centímetro cuadrado de área de célula, con una irradiación solar AM1,5 con una eficiencia de conversión por encima del 35% por sol.
- 55 12. Una disposición como se reivindica en la reivindicación 10, caracterizada porque comprende además capas de diodos túnel (14, 15, 21, 22) dispuestas entre las subcélulas de la célula solar que tienen un grosor adaptado para soportar una densidad de corriente a través de los diodos túnel de entre 15 y 30 amperios/centímetro cuadrado.
- 60

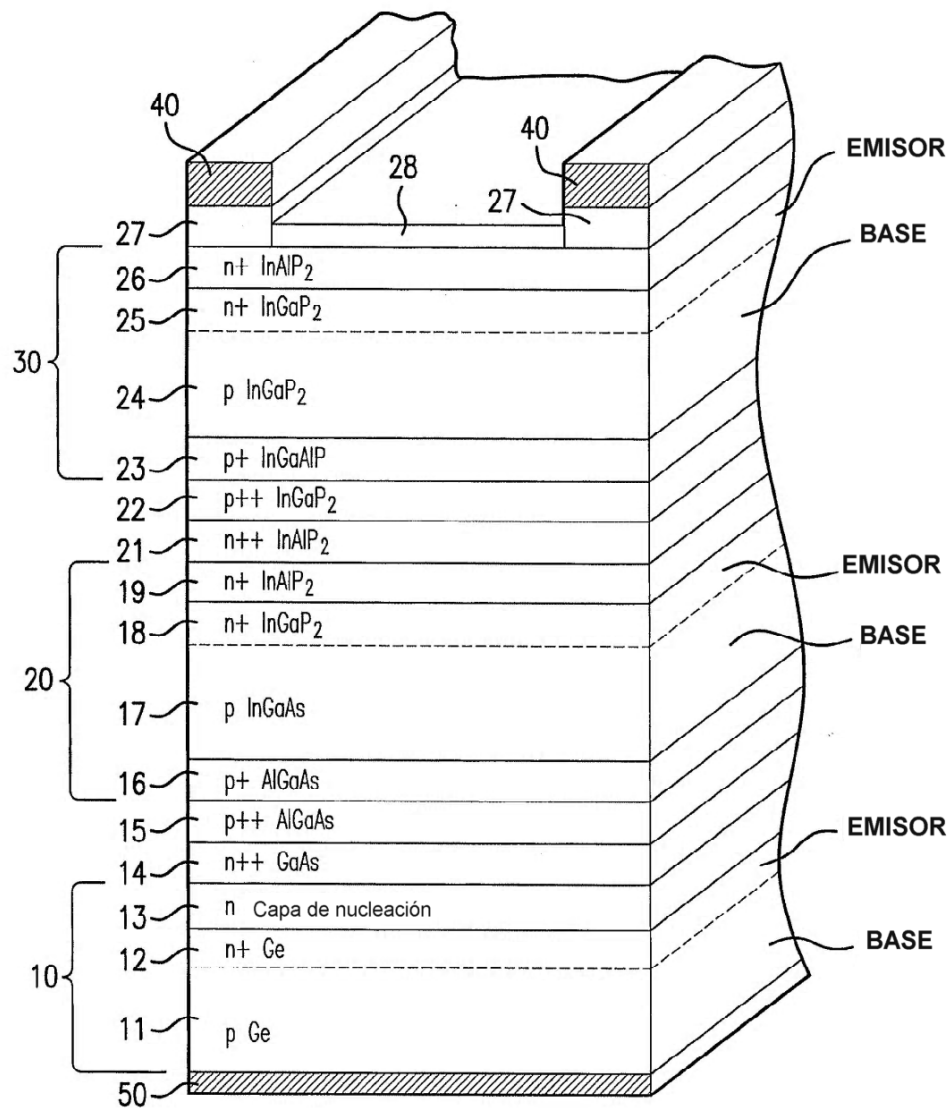


Fig. 1
Técnica anterior

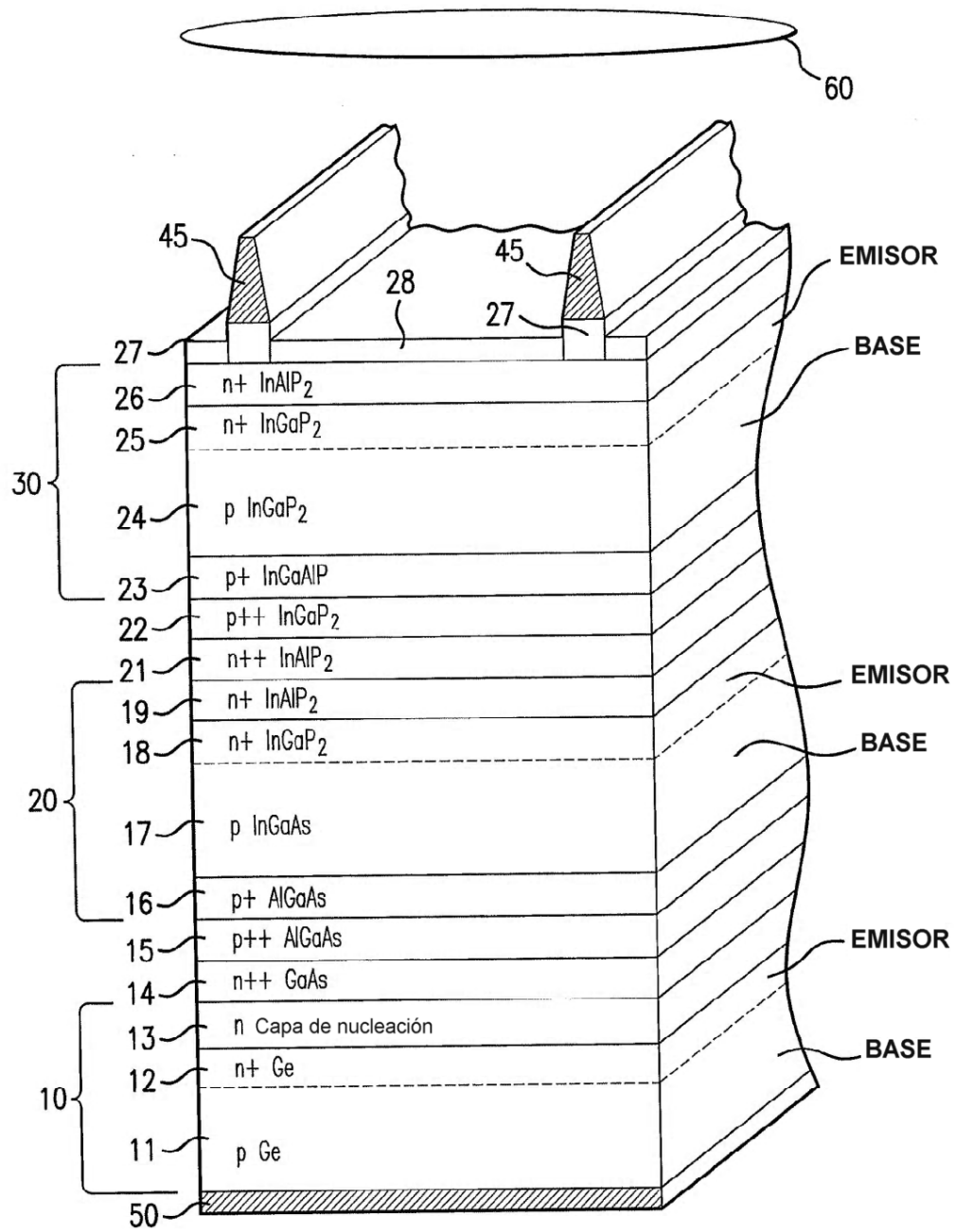


Fig. 2

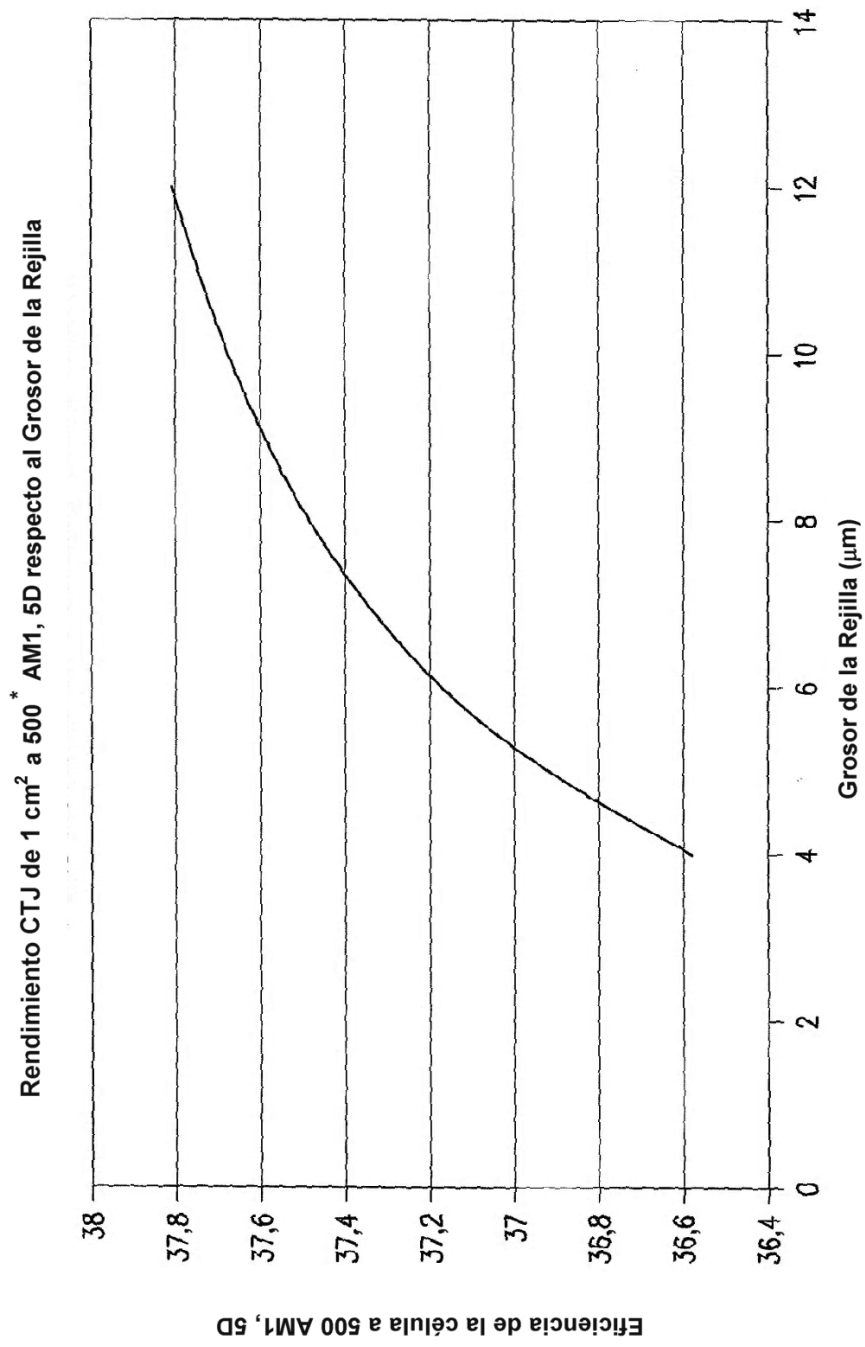


Fig. 3

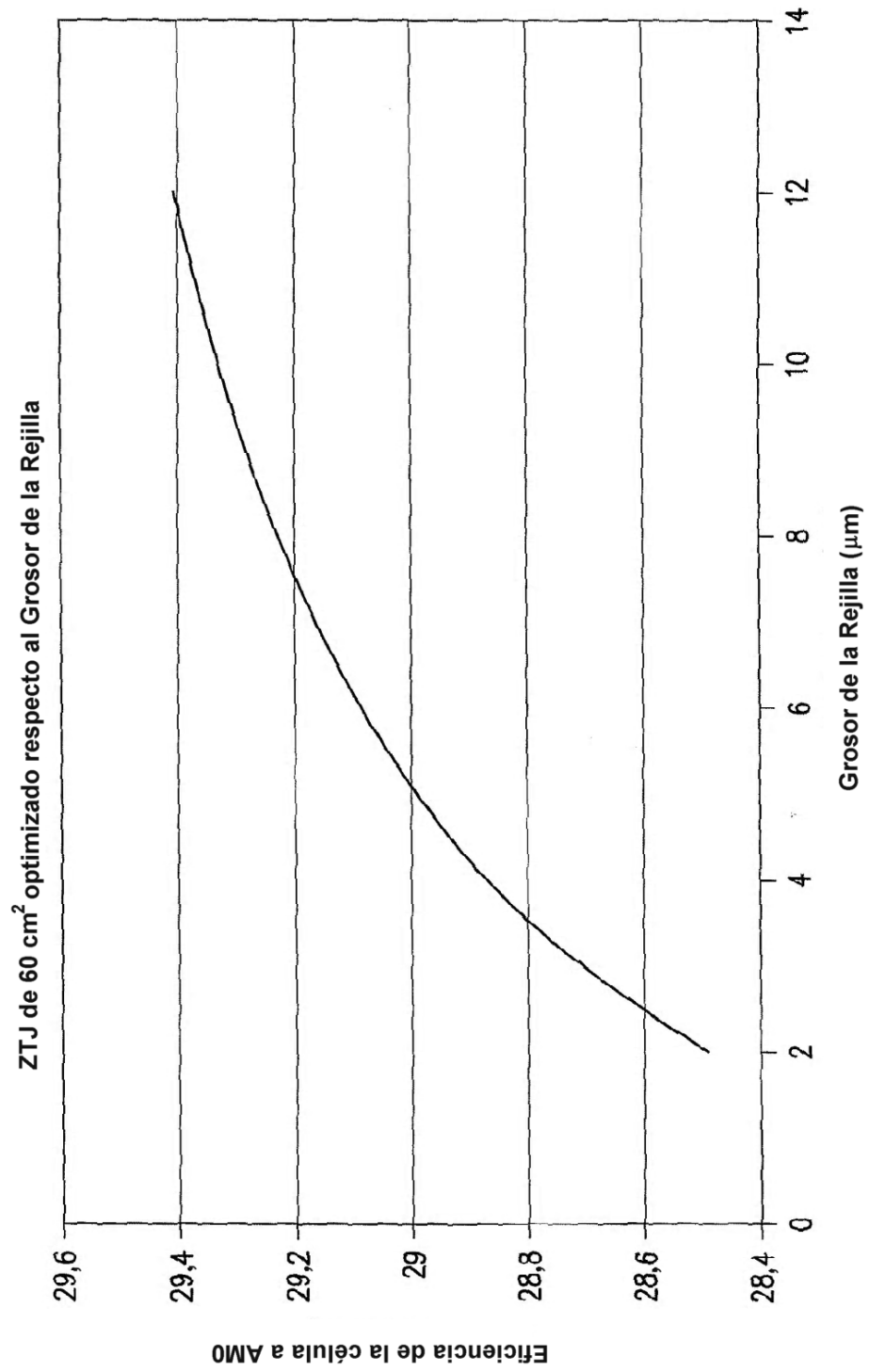


Fig. 4