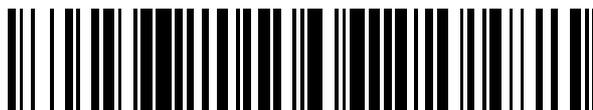


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 558 965**

51 Int. Cl.:

H01L 31/04 (2014.01)

H01L 31/0352 (2006.01)

H01L 31/075 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2009 E 09847564 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2015 EP 2458642**

54 Título: **Elemento de conversión fotoeléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.02.2016

73 Titular/es:

TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA (100.0%)
1 Toyota-cho
Toyota-shi, Aichi-ken, 471-8571 , JP

72 Inventor/es:

SUTO, HIROYUKI

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 558 965 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

Elemento de conversión fotoeléctrica

Sector técnico

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de conversión fotoeléctrica; y en particular se refiere a un dispositivo de conversión fotoeléctrica que utiliza una estructura cuántica.

Antecedentes de la técnica

10 Una célula solar tiene las ventajas de que la cantidad de dióxido de carbono emitido por generación de energía es pequeña, y de que no se requieren combustibles para la generación de energía. Por lo tanto, se han desarrollado activamente estudios sobre diversos tipos de células solares. Actualmente, entre las células solares de utilidad práctica, se ha generalizado una célula solar mono-unión que tiene un conjunto de uniones p-n y que utiliza silicio de un único cristal o silicio policristalino. Sin embargo, el límite teórico de la eficiencia de la conversión fotoeléctrica de la célula solar mono-unión (en adelante, denominado "límite teórico de la eficiencia") sigue siendo de aproximadamente el 30 %; por lo tanto, se han estudiado nuevos procedimientos para seguir mejorando el límite teórico de la eficiencia.

15 Uno de los nuevos procedimientos que se han estudiado hasta ahora es una célula solar que utiliza una estructura cuántica de un semiconductor. Los ejemplos conocidos de la estructura cuántica utilizada para este tipo de célula solar incluyen un punto cuántico, un pozo cuántico y un hilo cuántico. Utilizando la estructura cuántica, es posible absorber un ancho de banda del espectro solar que no puede ser absorbido mediante una célula solar convencional. De este modo, se asume que con una célula solar que utiliza la estructura cuántica, el límite teórico de la eficiencia se puede mejorar hasta un 60 % o más.

20 Como una técnica relacionada con una célula solar de este tipo (que incluye un dispositivo semiconductor óptico), por ejemplo, el documento de patente 1 da a conocer un dispositivo de semiconductor óptico en el que un elemento semiconductor de emisión/recepción de luz comprende, como capa de emisión/recepción de luz, una serie de capas que comprenden un punto cuántico fabricado de un semiconductor y que tiene un tamaño en sección transversal de aproximadamente la longitud de onda de De Broglie de los electrones; y que comprende un semiconductor que rodea el punto cuántico y que tiene una energía potencial mayor que la del punto cuántico para funcionar como una barrera de energía. Adicionalmente, el documento de patente 2 da a conocer una célula solar formada de una estructura p-i-n, y que comprende un punto cuántico que tiene un efecto de confinamiento tridimensional en una capa i como capa de fotodetección, en la que la estructura de las bandas de energía del punto cuántico y de la capa de barrera que rodea el punto cuántico es de tipo-II; una capa para impedir la inyección de un portador, que sirve como barrera para impedir la inyección de un hueco en el punto cuántico, está formada en un lado de la capa n del punto cuántico; y una capa para impedir la inyección de un portador que sirve como barrera para impedir la inyección de un electrón en el punto cuántico, está formada en un lado de la capa p del punto cuántico.

Lista de referencias

35 Bibliografía de patentes

Documento de patente número 1: solicitud de patente japonesa a inspección pública (JP-A) número 08-264825

Documento de patente 2: JP-A número 2006-114815

Bibliografía no de patentes

Documento no de patente número 1: E. E. Méndez, et al., Physical Review Letters 60, 2426 (1988)

40 Documento no de patente número 2: P. Voisin, et al., Physical Review Letters 61, 1639 (1988)

Compendio de la invención

Problemas técnicos

45 En una célula solar de tipo p-i-n (es decir, una célula solar que tiene una unión p-i-n) que utiliza la estructura cuántica, considerando que un electrón y un hueco (que en adelante se pueden denominar colectivamente como un "portador") generados en la estructura cuántica son transferidos entre las estructuras cuánticas principalmente mediante conducción por efecto túnel, a menudo se asume que el electrón y el hueco son excitados térmicamente a una capa n o a una capa p desde la estructura cuántica más próxima a un electrodo. En este caso, tal como se describe en los documentos no de patente 1 y 2, en la transferencia del portador que existe en la estructura cuántica a la estructura cuántica adyacente mediante conducción por efecto túnel, si existe una gran diferencia de energía entre los niveles cuánticos en las estructuras cuánticas adyacentes, disminuye la probabilidad de efecto túnel para el portador. Por lo tanto, para aumentar la probabilidad del efecto túnel, es preferible reducir la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de las estructuras cuánticas adyacentes. Por otra parte, cuando la célula solar de tipo p-i-

n que utiliza la estructura cuántica se utiliza a temperatura ambiente, la energía de excitación térmica está por debajo de 30 meV. Por lo tanto, para transferir el portador en la estructura cuántica, a la capa n y a la capa p mediante excitación térmica, es preferible reducir la barrera de energía entre la estructura cuántica, y la capa n o la capa p.

- 5 En el documento de patente 1 se utiliza el punto cuántico; si el portador que existe en el punto cuántico puede ser transferido mediante conducción por efecto túnel, se considera posible proporcionar un dispositivo de semiconductor óptico de alta eficiencia. Sin embargo, la técnica dada a conocer en el documento de patente 1 falla al intentar reducir la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de los puntos cuánticos adyacentes. Por lo tanto, es difícil extraer el portador que existe en el nivel cuántico fundamental y similares, lo que provoca dificultades para mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica. Este problema es difícil de resolver incluso mediante una combinación de las técnicas dadas a conocer en los documentos de patente 1 y 2.

JP2009 - 520357 da a conocer un dispositivo fotovoltaico con puntos cuánticos y una estructura p-i-n.

Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es dar a conocer un dispositivo de conversión fotoeléctrica que pueda mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

15 Soluciones a los problemas

Para resolver los problemas descritos anteriormente, la presente invención toma las siguientes medidas. Es decir, la presente invención es un dispositivo de conversión fotoeléctrica que comprende: una capa p, una capa n; una capa i dispuesta entre la capa p y la capa n; un primer electrodo conectado a la capa p; y un segundo electrodo conectado a la capa n, donde la capa i comprende: una capa de pared constituida por un primer semiconductor; y una parte de estructura cuántica constituida por un segundo semiconductor y dispuesta en la capa de pared; la banda prohibida del primer semiconductor es más ancha que la del segundo semiconductor; está contenida una impureza de tipo p en una zona del lado de la capa n de la capa i, y/o está contenida una impureza de tipo n en una zona del lado de la capa p de la capa i; en caso de contener la impureza de tipo p en la zona del lado de la capa n de la capa i, cuando la concentración de la impureza de tipo p que puede estar contenida en el centro de la capa i en la dirección del grosor de la misma se define como Cp1, y la concentración de la impureza de tipo p contenida en la zona del lado de la capa n de la capa i se define como Cp2, se satisface la relación $Cp1 < Cp2$; y en el caso de contener la impureza de tipo n en la zona del lado de la capa p de la capa i, cuando la concentración de la impureza de tipo n que puede estar contenida en el centro de la capa i en una dirección del grosor de la misma se define como Cn1, y la concentración de la impureza de tipo n contenida en la zona del lado de la capa p de la capa i se define como Cn2, se satisface la relación $Cn1 < Cn2$.

En este caso, en la presente invención, el término "parte de estructura cuántica" incluye un punto cuántico, un pozo cuántico y un hilo cuántico. Además, la "parte de estructura cuántica constituida por un segundo semiconductor y dispuesta en la capa de pared" indica, por ejemplo, que cuando la parte de estructura cuántica es un pozo cuántico o un punto cuántico formado por un proceso de auto-ordenamiento que utiliza el procedimiento de epitaxia de haces moleculares (MBE, Molecular Beam Epitaxy), y una capa húmeda, la capa de pared y la parte de la estructura cuántica están laminadas alternativamente. Por otra parte, cuando la parte de la estructura cuántica es un punto cuántico coloidal o un hilo cuántico, esto significa que la parte de la estructura cuántica está incorporada en la capa de pared. Además, en la presente invención, la "dirección del grosor de la capa i" se refiere a la dirección de laminación de la capa p, la capa i y la capa n. El "centro de la capa i en la dirección del grosor de la misma" se refiere a una parte en la capa i, en la que la distancia desde dicha parte hasta una cara extrema en el lado de la capa p de la capa i es igual a la distancia desde dicha parte hasta una cara extrema en el lado de la capa n de la capa i. La "impureza de tipo n" se refiere a una sustancia que se dopa en la capa i para generar un electrón en la capa i. Y la "zona en el lado de la capa p de la capa i" se refiere a la capa i situada en el lado de la capa p, cuando se biseca la capa i dispuesta entre la capa p y la capa n mediante un plano en una dirección ortogonal a la dirección de laminación de la capa p, la capa n y la capa i. En la presente invención, el centro de la capa i en la dirección del grosor de la misma no incluye la zona del lado de la capa p de la capa i. Adicionalmente, en la presente invención la "impureza de tipo p" se refiere a una sustancia que se dopa en la capa i para generar un hueco en la capa i. Y la "zona en el lado de la capa n de la capa i" se refiere a la capa i situada en el lado de la capa n, cuando se biseca la capa i dispuesta entre la capa p y la capa n mediante un plano en una dirección ortogonal a la dirección de laminación de la capa p, la capa n y la capa i. En la presente invención, el centro de la capa i en la dirección del grosor de la misma no incluye la zona del lado de la capa n de la capa i. Además, en la presente invención, el "dispositivo de conversión fotoeléctrica" incluye los conceptos de dispositivo de fotodetección, célula solar y similares.

En la presente invención descrita anteriormente, la impureza de tipo p está contenida preferentemente en una parte extrema del lado de la capa n de la capa i.

55 En este caso, en la presente invención, la "parte extrema del lado de la capa n de la capa i" se refiere a: una zona cuyo grosor medido desde la capa n hacia el interior de la capa i es la longitud del lado de un cuadrado, que incluye una parte de la estructura cuántica en promedio, en el caso en que las partes de estructura cuántica están dispuestas aleatoriamente; y a una zona cuyo grosor medido desde la capa n hasta el interior de la capa i es igual que un período de las partes de la estructura cuántica, en el caso en el que las partes de la estructura cuántica están dispuestas periódicamente.

En la presente invención, en la que la impureza de tipo p está contenida en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i, la Cp2 y la concentración de la impureza de tipo n en la capa n están controladas preferentemente de tal modo que el electrón puede ser transferido a la capa n desde la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i mediante conducción por efecto túnel.

- 5 Además, en la presente invención, en la que están controladas la Cp2 y la concentración de la impureza de tipo n en la capa n, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n es preferentemente igual o menor que el nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i.

10 En la presente memoria, que "el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n es igual o menor que el nivel fundamental en la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i" significa que cuando se realiza un diagrama de bandas en el que la energía de un electrón es mayor en un lado superior y la energía de un hueco es mayor en un lado inferior, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n es igual al nivel fundamental en la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i, o está situado por debajo del nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i. Además, "el nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i" se refiere al nivel fundamental (de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema de la capa i del lado de la capa n) en el que puede entrar un electrón.

20 Adicionalmente, en la presente invención, cuando la impureza de tipo p está contenida en la zona del lado de la capa n de la capa i, se forma preferentemente un potencial triangular que tiene el nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n mediante disponer una capa n⁺ entre la capa n y el segundo electrodo, de tal modo que el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n de la capa n⁺ es mayor que el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n⁺ de la capa n.

25 En la presente memoria, que "el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n de la capa n⁺ es mayor que el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n⁺ de la capa n" significa que cuando se realiza un diagrama de bandas en el que la energía de un electrón es mayor en el lado superior y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n de la capa n⁺ está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n⁺ de la capa n.

30 Además, en la presente invención, en la que se forma el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n mediante disponer la capa n⁺, el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n es, preferentemente, aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺.

35 En la presente memoria, que "el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺" significa que cuando existe un nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n, este nivel cuántico es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺. Por otra parte, cuando hay dos o más niveles cuánticos formados en la banda de conducción de la capa n, uno de dichos dos o más niveles cuánticos es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺. Además, la expresión "aproximadamente igual" incluye el concepto de ser igual, y el de estar comprendido en un intervalo de fluctuación térmica, es decir, dentro de un intervalo de KbT ('Kb' se refiere la constante de Boltzmann; y 'T' se refiere a la temperatura, por ejemplo en torno a una temperatura ambiente de 300 K).

En la presente invención descrita anteriormente, la impureza de tipo n está contenida preferentemente en una parte extrema en el lado de la capa p de la capa i.

50 En este caso, en la presente invención, la "parte extrema en el lado de la capa p de la capa i" se refiere a: una zona cuyo grosor medido desde la capa p hacia el interior de la capa i es la longitud del lado de un cuadrado, que incluye una parte de la estructura cuántica en promedio, en el caso en que las partes de estructura cuántica están dispuestas aleatoriamente; y a una zona cuyo grosor medido desde la capa p hasta el interior de la capa i es igual que un periodo de las partes de la estructura cuántica, en el caso en el que las partes de la estructura cuántica están dispuestas periódicamente.

55 Además, en la presente invención, en la que la impureza de tipo n está contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, la Cn2 y la concentración de la impureza de tipo p en la capa p están controladas preferentemente de tal modo que el hueco puede ser transferido a la capa p desde parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i mediante conducción por efecto túnel.

Además, en la presente invención, en la que la $Cn2$ y la concentración de la impureza de tipo p en la capa p están controladas, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p es preferentemente igual o mayor que el nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i.

5 En la presente memoria, que "el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p es preferentemente igual o mayor que el nivel fundamental en la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i" significa que cuando se realiza un diagrama de bandas en el que la energía de un electrón es mayor en el lado superior y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p es igual que el nivel fundamental en la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, o está situado por encima del nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i. Además, el "nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i" se refiere al nivel fundamental (de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i) en el que puede entrar un hueco.

Adicionalmente, en la presente invención, cuando la impureza de tipo n está contenida en la zona del lado de la capa p de la capa i, un potencial triangular que tiene el nivel cuántico se forma preferentemente en la banda de valencia de la capa p mediante disponer una capa p^+ entre la capa p y el primer electrodo, de tal modo que el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p de la capa p^+ es menor que el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ de la capa p.

En la presente memoria, que "el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p de la capa p^+ sea menor que el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ de la capa p" significa que cuando se realiza un diagrama de bandas en el que la energía de un electrón es mayor en el lado superior y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p de la capa p^+ está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ de la capa p.

Además, en la presente invención en la que el potencial triangular que tiene el nivel cuántico está formado en la banda de valencia de la capa p mediante disponer la capa p^+ , el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p es preferentemente aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p^+ .

En la presente memoria, que "el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema del lado del primer electrodo de la capa p^+ " significa que cuando hay un nivel cuántico formado en la banda de valencia en la capa p, este nivel cuántico es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p^+ . Por otra parte, cuando hay dos o más niveles cuánticos formados en la banda de valencia de la capa p, uno de dichos dos o más niveles cuánticos es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p^+ . Además, la expresión "aproximadamente igual" incluye el concepto de ser igual, y el de estar comprendido en un intervalo de fluctuación térmica, es decir, dentro de un intervalo de KbT ('Kb' se refiere la constante de Boltzmann; y 'T' se refiere a la temperatura, por ejemplo en torno a una temperatura ambiente de 300 K).

Resultados de la invención

Según la presente invención, dado que se satisfacen las relaciones $Cp1 < Cp2$ y/o $Cn1 < Cn2$, es posible hacer suavemente inclinada la banda de la capa i. Al hacer suavemente inclinada la banda de la capa i, se puede reducir la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de las partes de estructura cuántica adyacentes. Por lo tanto, con la presente invención, el portador en la parte de la estructura cuántica se puede transferir fácilmente mediante conducción por efecto túnel. Al permitir que se transfiera fácilmente el portador, resulta posible mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, es posible proporcionar un dispositivo de conversión fotoeléctrica que pueda mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

Además, en la presente invención, al contener la impureza de tipo p en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i, es posible suavizar la inclinación de la banda en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i, donde tiende a producirse un aumento de la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de las partes de estructura cuántica adyacentes. Como resultado, se hace posible reducir la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de la parte de la estructura cuántica que existe en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i, y el nivel cuántico de la parte de la estructura cuántica adyacente a la parte de la estructura cuántica anterior; y por lo tanto, se pueden transferir una serie de electrones a la parte de la estructura cuántica que existe en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i, mediante conducción por efecto túnel.

En la presente invención, controlando la C_{p1} y la concentración de la impureza de tipo n en la capa n de tal modo que se puede transferir el electrón a la capa n desde la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i mediante conducción por efecto túnel, se pueden transferir fácilmente a la capa n los electrones existentes en el nivel cuántico fundamental de la parte de la estructura cuántica.

5 Asimismo, en la presente invención, al hacer el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n igual o menor que el nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i, el electrón existente en la parte de la estructura cuántica se puede transferir fácilmente a la capa n mediante conducción por efecto túnel.

10 En la presente invención, al formar el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n, resulta posible transferir el electrón a la capa n por medio del nivel cuántico del potencial triangular, permitiendo de ese modo mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

En la presente invención, al hacer el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n^+ , se puede mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

15 Adicionalmente, en la presente invención, al contener la impureza de tipo n en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, resulta posible suavizar la inclinación de la banda en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, donde tiende a producirse un aumento en la diferencia de energía entre el nivel cuántico de las partes de estructura cuántica adyacentes. Como resultado, resulta posible reducir la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de la parte de la estructura cuántica existente en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, y el nivel cuántico de la parte de la estructura cuántica adyacente a la parte de la estructura cuántica anterior; y por lo tanto, se pueden transferir fácilmente una serie de huecos a la parte de la estructura cuántica que existe en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i mediante conducción por efecto túnel.

20

25 En la presente invención, al controlar la C_{n2} y la concentración de la impureza de tipo p de la capa p de tal modo que el hueco se puede transferir fácilmente a la capa p desde la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i mediante conducción por efecto túnel, se pueden transferir fácilmente a la capa p los huecos existentes en el nivel cuántico fundamental de la parte de la estructura cuántica.

30 Asimismo, en la presente invención, al hacer el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p igual o mayor que el nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, el hueco existente en la parte de la estructura cuántica se puede transferir fácilmente a la capa p mediante conducción por efecto túnel.

En la presente invención, al formar el potencial triangular que tiene el nivel cuántico en la banda de valencia de la capa p, resulta posible transferir el hueco a la capa p por medio del nivel cuántico del potencial triangular, permitiendo de ese modo mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

35 En la presente invención, al hacer el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p^+ , se puede mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 10;

la figura 2 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 10;

40 la figura 3 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 20;

la figura 4 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 20;

la figura 5 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 30;

la figura 6 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 30;

la figura 7 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 40;

45 la figura 8 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 40;

la figura 9 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 50;

la figura 10 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 50;

la figura 11 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 60;

la figura 12 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 60;

la figura 13 es una vista en sección transversal que muestra una realización de una célula solar 70;

la figura 14 es un diagrama de bandas que muestra la célula solar 70.

Lista de numerales de referencia

10 célula solar

- | | | |
|----|------|-------------------|
| 5 | 11 | capa p |
| | 12 | capa n |
| | 13 | capa i |
| | 13a | capa de pared |
| | 13an | capa de pared |
| 10 | 13ap | capa de pared |
| | 13b | punto cuántico |
| | 13bn | punto cuántico |
| | 13bp | punto cuántico |
| | 14 | primer electrodo |
| 15 | 15 | segundo electrodo |
| | 20 | célula solar |
| | 21 | capa p |
| | 22 | capa n |
| | 23 | capa i |
| 20 | 23a | capa de pared |
| | 23an | capa de pared |
| | 23ap | capa de pared |
| | 23b | punto cuántico |
| | 23bn | punto cuántico |
| 25 | 23bp | punto cuántico |
| | 30 | célula solar |
| | 31 | capa i |
| | 31a | capa de pared |
| | 31an | capa de pared |
| 30 | 31ap | capa de pared |
| | 31b | barrera |
| | 31c | capa húmeda |
| | 31d | punto cuántico |
| | 31e | capa |
| 35 | 31en | capa |
| | 31ep | capa |
| | 40 | célula solar |

	41	capa p
	42	capa n
	43	capa p ⁺
	44	capa n ⁺
5	50	célula solar
	51	capa p ⁺
	52	capa n ⁺
	60	célula solar
	61	capa de aislamiento
10	62	capa de aislamiento
	70	célula solar

Modos para llevar a cabo la invención

A continuación, se describirá un caso en el que se aplica la presente invención a una célula solar haciendo referencia a los dibujos. Se debe observar que las realizaciones mostradas a continuación son ejemplos de la presente invención, a los que no se limita la invención.

1. Primera realización

La figura 1 es una vista en sección transversal que muestra una célula solar 10 de acuerdo con una primera realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 1. Tal como se muestra en la figura 1, la célula solar 10 comprende: una capa p 11; una capa n 12; una capa i 13 dispuesta entre la capa p 11 y la capa n 12; un primer electrodo 14 conectado a la capa p 11; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n 12. La capa i 13 comprende una capa de pared 13a y puntos cuánticos 13b, 13b, ... (en ocasiones, denominados simplemente un "punto cuántico 13b", en adelante), dispuestos en la capa de pared 13a. La capa de pared 13a se compone de un primer semiconductor; y los puntos cuánticos 13b, 13b, ... se componen de un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor. En la célula solar 10, la separación entre los puntos cuánticos 13b, 13b, ... está configurada para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel. Está contenida una impureza de tipo n en la capa de pared 13a, en la parte extrema en el lado de la capa p 11 de la capa i 13 (en adelante, denominada "capa de pared 13ap"); y está contenida una impureza de tipo p en la capa de pared 13a, en la parte extrema en el lado de la capa n 12 de la capa i 13 (en adelante, denominada una "capa de pared 13an"). En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la capa de pared 13a aparte de la capa de pared 13ap y de la capa de pared 13an. Es decir, cuando se define la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i 13 en una dirección del grosor de la misma como Cn11, se define la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona del lado de la capa p 11 de la capa i 13 como Cn12, se define la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 13 en la dirección del grosor de la misma como Cp11 y se define la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona del lado de la capa n 12 de la capa i 13 como Cp12, se satisfacen las relaciones $Cn11 < Cn12$ y $Cp11 < Cp12$ en la célula solar 10.

La figura 2 es un diagrama de bandas de la célula solar 10. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 2, y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior de la hoja. En la figura 2, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 10, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 2, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. A continuación, proseguirán las explicaciones de la célula solar 10 haciendo referencia a las figuras 1 y 2.

Tal como se muestra en la figura 2, en la célula solar 10, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 11 y la capa n 12, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda de la capa i 13, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 13a y la inclinación de la banda del punto cuántico 13b están suavizadas mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 13ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 13an. Además, tal como se muestra en la figura 2, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema del lado del segundo electrodo 15 de la capa n 12 está situado por debajo del nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que puede existir un electrón; en adelante, denominado como un "nivel fundamental de un punto cuántico 13bn") de los puntos cuánticos 13b, 13b, ... dispuestos en la parte extrema del lado de la capa n 12 de la capa i 13 (en adelante, los puntos cuánticos se denominan un "punto cuántico 13bn"). El nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p 11 está situado por encima del nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que

puede existir un hueco; en adelante se denomina un "nivel fundamental de un punto cuántico 13bp") de los puntos cuánticos 13b, 13b, ... dispuestos en la parte extrema del lado de la capa p 11 de la capa i 13 (en adelante, denominado un "punto cuántico 13bp").

5 En la célula solar 10, cuando se hace incidir luz sobre la capa i 13, se genera un par electrón-hueco tanto en la capa de pared 13a como en el punto cuántico 13b. Por lo menos una parte de los portadores generados en la capa de pared 13a se desplazan en la capa de pared 13a, alcanzando el hueco la capa de pared 13ap, y alcanzando el electrón la capa de pared 13an. Y por lo menos una parte de los huecos que han alcanzado la capa de pared 13ap llegan directamente a la capa p 11, mientras que por lo menos una parte de los huecos restantes que han alcanzado la capa de pared 13ap caen al punto cuántico 13bp. Además, por lo menos una parte de los electrones que han alcanzado la capa de pared 13an llegan directamente a la capa n 12, mientras que por lo menos una parte de los electrones restantes que han alcanzado la capa de pared 13an caen al punto cuántico 13bn. Por otra parte, tal como se ha descrito anteriormente, el segundo semiconductor que constituye el punto cuántico 13b tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor que constituye la capa de pared 13a; por lo tanto, por lo menos una parte de los portadores generados en la capa de pared 13a caen al punto cuántico 13b. En este caso, en la célula solar 10, la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de los puntos cuánticos adyacentes 13b, 13b se reduce al contener la impureza de tipo n en la capa de pared 13ap y al contener la impureza de tipo p en la capa de pared 13an. De este modo, los portadores que han caído en el punto cuántico 13b se pueden desplazar fácilmente entre los puntos cuánticos 13b, 13b, ... mediante conducción por efecto túnel, alcanzando el hueco el punto cuántico 13bp, y alcanzando el electrón el punto cuántico 13bn. Por otra parte, los portadores generados en el punto cuántico 13b se desplazan análogamente entre los puntos cuánticos 13b, 13b, ... mediante conducción por efecto túnel, alcanzando el hueco el punto cuántico 13bp, y alcanzando el electrón el punto cuántico 13bn. Tal como se muestra en la figura 2, en la célula solar 10, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del punto cuántico 13bp de la capa p 11 está situado por debajo del nivel fundamental del punto cuántico 13bp; por otra parte, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p 11 está situado por encima del nivel fundamental del punto cuántico 13bp. Por lo tanto, el hueco que ha alcanzado el punto cuántico 13bp se puede desplazar a la capa p 11 siendo excitado térmicamente. Además, tal como se muestra en la figura 2, en la célula solar 10, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del punto cuántico 13bn de la capa n 12 está situado por encima del nivel fundamental del punto cuántico 13bn; por otra parte, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo 15 de la capa n 12 está situado por debajo del nivel fundamental del punto cuántico 13bn. Por lo tanto, el electrón que ha alcanzado el punto cuántico 13bn se puede desplazar a la capa n 12 al ser excitado térmicamente.

En este caso, el punto cuántico 13b (que incluye el punto cuántico 13bp y el punto cuántico 13bn; lo mismo aplica en adelante) tiene un nivel cuántico discreto; y el número de portadores que puede incorporar cada uno de los puntos cuánticos 13b, 13b, ... está limitado. Además, se asume que el hueco se incorpora al punto cuántico 13bp desde el nivel profundo (es decir, el nivel cuántico en el que la energía es relativamente baja), y que el electrón se incorpora asimismo al punto cuántico 13bn desde el nivel profundo (es decir, el nivel cuántico en el que la energía es relativamente baja). Por lo tanto, el hueco que se incorpora al punto cuántico 13bp, una vez que el hueco ya se ha incorporado, entra al nivel poco profundo (es decir, el nivel cuántico en el que la energía es relativamente alta) del punto cuántico 13bp; y el electrón que se incorpora al punto cuántico 13bn, una vez que el electrón ya se ha incorporado entra al nivel poco profundo (es decir, el nivel cuántico en el que la energía es relativamente alta) del punto cuántico 13bn. La barrera de energía es baja para que el hueco que ha entrado al nivel poco profundo del punto cuántico 13bp la supere para desplazarse a la capa p 11. Por lo tanto, el hueco se puede desplazar fácilmente desde el punto cuántico 13bp a la capa p 11 al ser excitado térmicamente. Análogamente, la barrera de energía es baja para que el electrón que ha entrado al nivel poco profundo del punto cuántico 13bn la supere para desplazarse a la capa n 12. Por lo tanto, el electrón se puede desplazar fácilmente desde el punto cuántico 13bn a la capa n 12 al ser excitado térmicamente.

De este modo, de acuerdo con la célula solar 10, al reducir la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de los puntos cuánticos adyacentes 13b, 13b, el hueco existente en el punto cuántico 13b puede ser transferido fácilmente al punto cuántico 13bp mediante conducción por efecto túnel, y el electrón existente en el punto cuántico 13b puede ser transferido fácilmente al punto cuántico 13bn. El hueco existente en el punto cuántico 13bp puede ser transferido fácilmente a la capa p 11, y el electrón existente en el punto cuántico 13bn puede ser transferido fácilmente a la capa n 12; por lo tanto, en la célula solar 10, es posible extraer fácilmente el portador desde el punto cuántico 13b. Permitiendo que se extraiga fácilmente el portador desde el punto cuántico, se pueden mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, es posible disponer una célula solar 10 que pueda mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

Tal como se ha descrito anteriormente, el punto cuántico 13b tiene un nivel cuántico discreto; y el nivel cuántico del punto cuántico, especialmente en el lado de baja energía, es más discreto que el de las otras estructuras cuánticas (tal como un pozo cuántico y un hilo cuántico). Además, se asume que el tiempo necesario para que el portador relaje su energía entre los niveles cuánticos discretos es mayor que el tiempo necesario para que el portador relaje su energía entre los niveles cuánticos continuos. Por lo tanto, con la célula solar 10 que comprende el cuanto 13b, es posible prolongar el período de tiempo en el que el electrón y el hueco se recombinan; como resultado, se puede mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

En la célula solar 10, la capa de pared 13a puede estar constituida por ZnO o similares. Además, la capa p 11 puede estar constituida por un material obtenido dopando una impureza de tipo p conocida en un material semiconductor para constituir la capa de pared 13a, o puede estar constituida por Cu_2O de tipo p o similar. La capa n 12 puede estar constituida por un material obtenido dopando una impureza de tipo n conocida en un material semiconductor para constituir la capa de pared 13a. Además, la capa de pared 13ap puede estar constituida por un material obtenido dopando en un material para constituir la capa de pared 13a, una pequeña cantidad de impureza de tipo n (es decir, la cantidad de la impureza de tipo n que permita una concentración de electrones de la capa de pared 13ap que sea menor que la de la capa n 12; lo mismo aplica en adelante). La capa de pared 13an puede estar constituida por un material obtenido dopando en un material para constituir la capa de pared 13a, una pequeña cantidad de impureza de tipo p (es decir, la cantidad de impureza de tipo p que permita una concentración de huecos de la capa de pared 13an que sea menor que la de la capa p 11, lo mismo aplica en adelante). Además, como material que constituye del punto cuántico 13b, se puede utilizar adecuadamente un material que tenga una banda prohibida más estrecha que la del material que constituye la capa de pared 13a. Y como material constituyente de los electrodos 14 y 15, se puede utilizar adecuadamente un material que se pueda utilizar como electrodo de una célula solar.

En la célula solar 10 con dichas configuraciones, la parte central de la capa i 13 en la dirección del grosor de la misma se puede fabricar, por ejemplo, mediante las etapas de: disolver el primer semiconductor que constituye la capa de pared 13a en una solución mediante la utilización de un disolvente orgánico o similar; dispersar en la solución un punto cuántico disponible comercialmente; y a continuación volatilizar el disolvente para sinterizar.

Asimismo, la parte extrema en el lado de la capa p 11 de la capa i 13 se puede fabricar, por ejemplo, mediante las etapas de: disolver un precursor de un semiconductor obtenido dopando una pequeña cantidad de elemento de tipo n en el primer semiconductor (es decir, un semiconductor para constituir la capa de pared 13ap) en una solución utilizando un disolvente orgánico; dispersar en la solución un punto cuántico disponible comercialmente; y a continuación volatilizar el disolvente para sinterizar.

Además, la parte extrema en el lado de la capa n 12 de la capa i 13 se puede fabricar, por ejemplo, mediante las etapas de: disolver un precursor de un semiconductor obtenido dopando una pequeña cantidad de elemento de tipo p en el primer semiconductor (es decir, un semiconductor para constituir la capa de pared 13an) en una solución utilizando un disolvente orgánico; dispersar en la solución un punto cuántico disponible comercialmente; y a continuación volatilizar el disolvente para sinterizar.

En la fabricación de la célula solar 10, por ejemplo, se lleva a cabo lo siguiente: se forma la capa p 11 sobre una superficie de un sustrato de vidrio conocido, mediante un procedimiento conocido tal como deposición de vapor; se forma la capa i 13, mediante el procedimiento anterior, sobre una superficie de la capa p 11 formada; y a continuación se forma la capa n 12, mediante el procedimiento conocido como deposición de vapor, sobre una superficie de la capa i 13 formada. Después de que se han formado de este modo la capa p 11, la capa i 13 y la capa n 13 en el orden mencionado, se realiza el grabado de una parte de la capa n 12 y de la capa i 13 para asegurar la conducción con la capa p 11. Y a continuación, se forma el primer electrodo 14 sobre la superficie de la capa p 11, y se forma el segundo electrodo 15 sobre la superficie de la capa n 12, respectivamente mediante el procedimiento conocido como procedimiento de deposición por haz de electrones. La célula solar 10 se puede fabricar llevando a cabo estas etapas.

2. Segunda realización

La figura 3 es una vista en sección transversal que muestra una célula solar 20 de acuerdo con una segunda realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 3. En la figura 3, a los elementos que tienen la misma estructura que los de la célula solar 10, se asignan los mismos numerales de referencia que los utilizados en las figuras 1 y 2, y se omiten adecuadamente las explicaciones de los mismos.

Tal como se muestra en la figura 3, la célula solar 20 comprende: una capa p 21; una capa n 22; una capa i 23 dispuesta entre la capa p 21 y la capa n 22; un primer electrodo 14 conectado a la capa p 21; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n 22. La concentración de un hueco contenido en la capa p 21 es mayor que la del hueco contenido en la capa p 11 de la célula solar 10; y la concentración de un electrón contenido en la capa n 22 es mayor que la de los electrones contenidos en la capa n 12 de la célula solar 10. La capa i 23 comprende una capa de pared 23a y puntos cuánticos 23b, 23b, ..., (en ocasiones, denominados simplemente un "punto cuántico 23b", en adelante) dispuestos en la capa de pared 23a. La capa de pared 23a está constituida por un primer semiconductor; y el punto cuántico 23b está constituido por un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor. En la célula solar 20, la separación entre los puntos cuánticos 23b, 23b, ... está configurada para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel. Está contenida una impureza de tipo n en la capa de pared 23a, en la parte extrema del lado de la capa p 11 de la capa i 23 (en adelante, denominada una "capa de pared 23ap"); y la concentración de electrones de la capa de pared 23ap es mayor que la de la capa de pared 13ap de la célula solar 10. Además, está contenida una impureza de tipo p en la capa de pared 23a, en la parte extrema del lado de la capa n 22 de la capa i 23 (en adelante, denominada una "capa de pared 23an"); y la concentración de huecos de la capa de pared 23an es mayor que la de la capa de pared 13an de la célula solar 10. En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la

capa de pared 23a aparte de la capa de pared 23ap y de la capa de pared 23an. Es decir, cuando se define la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i 23 en una dirección del grosor de la misma como Cn21, se define la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona del lado de la capa p 21 de la capa i 23 como Cn22, se define la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 23 en la dirección del grosor de la misma como Cp21 y se define la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona del lado de la capa n 22 de la capa i 23 como Cp22, se satisfacen las relaciones $Cn21 < Cn22$ y $Cp21 < Cp22$ en la célula solar 20.

La figura 4 es un diagrama de bandas de la célula solar 20. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 4, y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior de la hoja. En la figura 4, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 20, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 4, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. A continuación, proseguirán las explicaciones de la célula solar 20 haciendo referencia a las figuras 1 a 4.

Tal como se muestra en la figura 4, en la célula solar 20, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 21 y la capa n 22, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda de la capa i 23, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 23a y la inclinación de la banda del punto cuántico 23b están suavizadas mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 23ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 23an. Además, tal como se muestra en la figura 4, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema del lado del segundo electrodo 15 de la capa n 22 está situado por debajo del nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que puede existir un electrón) de los puntos cuánticos 23b, 23b, ... dispuestos en la parte extrema del lado de la capa n 22 de la capa i 23 (en adelante, denominados un "punto cuántico 23bn"). El nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p 21 está situado por encima del nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que puede existir un hueco) de los puntos cuánticos 23b, 23b, ... dispuestos en la parte extrema del lado de la capa p 21 de la capa i 23 (en adelante, denominados un "punto cuántico 23bp").

Además, la célula solar 20 está dotada de la capa p 21 que tiene una concentración de huecos mayor que la de la capa p 11 de la célula solar 10, y está dotada de la capa de pared 23ap que tiene una concentración de electrones mayor que la de la capa de pared 13ap de la célula solar 10; por lo tanto, la inclinación de la banda del extremo superior de la banda de valencia en la capa p 21 es más pronunciada que la del extremo superior de la banda de valencia en la capa p 11 de la célula solar 10. Con esta configuración, es posible reducir la distancia del movimiento del hueco que se transfiere desde el punto cuántico 23bp a la capa p 21 mediante conducción por efecto túnel. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 20, el hueco existente en el punto cuántico 23bp se puede transferir fácilmente a la capa p 21 mediante conducción por efecto túnel. De este modo, de acuerdo con la célula solar 20, cuando el hueco existente en el punto cuántico 23bp se transfiere a la capa p 21, se puede transferir fácilmente mediante conducción por efecto túnel; por lo tanto, el hueco existente en el nivel profundo (es decir, el nivel cuántico en el que la energía es relativamente baja) del punto cuántico 23bp se puede asimismo transferir fácilmente al primer electrodo 14.

Por otra parte, la célula solar 20 está dotada de la capa n 22 que tiene una concentración de electrones mayor que la de la capa n 12 de la célula solar 10, y está dotada de una capa de pared 23an que tiene una concentración de huecos mayor que la de la capa de pared 13an de la célula solar 10; por lo tanto, la inclinación de la banda del extremo inferior de la banda de conducción en la capa n 22 es más pronunciada que la del extremo inferior de la banda de conducción en la capa n 12 de la célula solar 10. Con esta configuración, es posible reducir la distancia del movimiento del electrón que se transfiere desde el punto cuántico 23bn a la capa n 22 mediante conducción por efecto túnel. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 20, el electrón existente en el punto cuántico 23bn se puede transferir fácilmente a la capa n 22 mediante conducción por efecto túnel. De este modo, de acuerdo con la célula solar 20, cuando el electrón existente en el punto cuántico 23bn se transfiere a la capa n 22, se puede transferir fácilmente mediante conducción por efecto túnel; por lo tanto, el electrón existente en el nivel profundo (es decir, el nivel cuántico en el que la energía es relativamente baja) del punto cuántico 23bn se puede asimismo transferir fácilmente al segundo electrodo 15. De este modo, de acuerdo con la célula solar 20, es posible mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica mejor que en el caso de la célula solar 10.

Tal como se ha descrito anteriormente, el punto cuántico 23b tiene un nivel cuántico discreto; y el nivel cuántico del punto cuántico, especialmente en el lado de baja energía, es más discreto que el de las otras estructuras cuánticas (tal como un pozo cuántico y un hilo cuántico). Además, se asume que el tiempo necesario para que el portador relaje su energía entre los niveles cuánticos discretos es mayor que el tiempo necesario para que el portador relaje su energía entre los niveles cuánticos continuos. Por lo tanto, con la célula solar 20 que comprende el cuanto 23b, es posible prolongar el período de tiempo en el que el electrón y el hueco se recombinan; como resultado, se puede mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

En la célula solar 20, la capa de pared 23a puede estar constituida por el mismo material que el de la capa de pared 13a de la célula solar 10. Además, la capa p 21 puede estar constituida, por ejemplo, por un material obtenido dopando en un material semiconductor para constituir la capa de pared 23a, más cantidad de la impureza de tipo p

que en el caso de la capa p 11 de la célula solar 10. Asimismo, la capa n 22 puede estar constituida por un material obtenido dopando en un semiconductor material para constituir la capa de pared 23a, más cantidad de impureza de tipo n que en el caso de la capa n 12 de la célula solar 10. Además, la capa de pared 23ap puede estar constituida por un material obtenido dopando en un material para constituir la capa de pared 23a, más cantidad de la impureza de tipo n que en el caso de la capa de pared 13ap de la célula solar 10. Asimismo, la capa de pared 23an puede estar constituida por un material obtenido dopando en un material para constituir la capa de pared 23a, más cantidad de impureza de tipo p que en el caso de la capa de pared 13an de la célula solar 10. Además, el punto cuántico 23b puede estar constituido por el mismo material que el del punto cuántico 13b de la célula solar 10. La célula solar 20 que comprende cada uno de los elementos constituidos por los materiales según lo anterior, se puede fabricar de manera similar al caso de la célula solar 10.

3. Tercera realización

La figura 5 es una vista en sección transversal que muestra una célula solar 30 de acuerdo con una tercera realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 5. En la figura 5, a los elementos que tienen la misma estructura que los de la célula solar 20, se asignan los mismos numerales de referencia que los utilizados en las figuras 3 y 4, y se omiten adecuadamente las explicaciones de los mismos.

Tal como se muestra en la figura 5, la célula solar 30 comprende: una capa p 21; una capa n 22; una capa i 31 dispuesta entre la capa p 21 y la capa n 22; un primer electrodo 14 conectado a la capa p 21; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n 22. La capa i 31 está configurada en cierto modo laminando una capa de pared 31a; una barrera 31b; y una capa 31e que comprende una capa húmeda 31c y puntos cuánticos 31d, 31d, ... (en ocasiones, denominados simplemente como un "punto cuántico 31d", en adelante). Las capas de pared 31a, 31a, ... (en ocasiones, denominadas simplemente como una "capa de pared 31a", en adelante) están constituidas por un primer semiconductor; y las capas 31e, 31e, ... (en ocasiones denominadas simplemente como una "capa 31e", en adelante) están constituidas por un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor. En la célula solar 30, la separación entre las capas adyacentes 31e, 31e (es decir, el grosor total de la capa de pared 31a y las barreras 31b, 31b que están intercaladas entre las dos capas 31e, 31e; lo mismo aplica en adelante), está configurada para permitir la transferencia de un portador mediante conducción por efecto túnel. Y la separación entre capas adyacentes 31a, 31a (es decir, el grosor total de la capa 31e y las barreras 31b, 31b que están intercaladas mediante las dos capas 31a, 31a; lo mismo aplica en adelante), está configurada para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel.

En la célula solar 30, el cuanto 31d se forma mediante un proceso de auto-ordenamiento utilizando un procedimiento MBE; y se forma en la capa húmeda 31c. Cada una de las barreras 31b, 31b, ... (en ocasiones, denominadas simplemente una "barrera 31b", en adelante) está dispuesta entre las capas 31e, 31e, ... y las capas de pared 31a, 31a, ..., que están dispuestas en el centro de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma (es decir, una dirección de arriba abajo de la hoja de la figura 5). Y la barrera 31b está constituida por un material (un semiconductor o un aislante) que tiene una banda prohibida más ancha que la del primer semiconductor. En cambio, la barrera 31b no está dispuesta en el lado de la capa p 21 de la capa 31e dispuesta en la parte extrema del lado de la capa p 21 de la capa i 31 (en ocasiones, denominada simplemente una "capa 31ep", en adelante), y no está dispuesta en el lado de la capa n 22 de la capa 31e dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa n 22 de la capa i 31 (denominada como una "capa 31en"). Además, en la célula solar 30, está contenida una impureza de tipo n en la capa de pared 31a, en la parte extrema del lado de la capa p 21 de la capa i 31 (en ocasiones, denominada una "capa de pared 31ap", en adelante); y la concentración de electrones en la capa de pared 31ap es alta (o de gran densidad) tal como la concentración de electrones de la capa de pared 23ap de la célula solar 20. Además, está contenida una impureza de tipo p en la capa de pared 31a, en la parte extrema en el lado de la capa n 22 de la capa i 31 (en ocasiones, denominada una "capa de pared 31an", en adelante); y la concentración de huecos de la capa de pared 23an es alta (o de gran densidad), tal como la concentración de huecos de la capa de pared 23an de la célula solar 20. En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la capa de pared 31a aparte de la capa de pared 31ap y de la capa de pared 31an. Es decir, cuando la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i en la dirección del grosor 31 de la misma está definida como Cn31, la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona en el lado de la capa p 21 de la capa i 31 está definida como Cn32, la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma está definida como Cp31 y la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona en el lado de la capa n 22 de la capa i 31 está definida como Cp32, se satisfacen las relaciones $Cn31 < Cn32$ y $Cp31 < Cp32$ en la célula solar 30.

La figura 6 es un diagrama de bandas de la célula solar 30. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 6, y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior de la hoja. En la figura 6, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 30, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 6, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. A continuación, proseguirán las explicaciones de la célula solar 30 haciendo referencia a las figuras 5 y 6.

Tal como se muestra en la figura 6, en la célula solar 30, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 21 y la capa n 22, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda en la capa i 31, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 31a y la inclinación de la banda de la capa 31e (la inclinación de la banda de la capa húmeda 31c y del punto cuántico 31d) se suavizan mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 31ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 31an. Además, tal como se muestra en la figura 6, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo 15 de la capa n 22 está situado por debajo del nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que puede existir un electrón) de la capa 31en dispuesta en la parte extrema del lado de la capa n 22 de la capa i 31. El nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p 21 está situado por encima del nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que puede existir un hueco) en la capa 31ep dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa p 21 de la capa i 31.

Además, en la célula solar 30, la banda mala de un material que constituye la barrera 31b es más ancha que la del primer semiconductor que constituye la capa de pared 31a. Existe un intervalo entre el extremo inferior de la banda de conducción en la barrera 31b y el extremo inferior de la banda de conducción en la capa de pared 31a; y entre el extremo superior de la banda de valencia en la barrera 31b y el extremo superior de la banda de valencia de la capa de pared 31a. Y existe un intervalo entre el extremo inferior de la banda de conducción en la barrera 31b y el extremo inferior de la banda de conducción en la capa de pared 31e; y entre el extremo superior de la banda de valencia en la barrera 31b y el extremo superior de la banda de valencia de la capa de pared 31e. Estos intervalos son mayores que la energía térmica que absorbe el portador en el entorno de temperaturas en el que se utiliza la célula solar 30; y tienen una altura a la que permiten que el portador generado en la capa 31e se transfiera entre las capas adyacentes 31e, 31e mediante conducción por efecto túnel.

En la célula solar 30, cuando se hace incidir luz sobre la capa i 31, se genera un par electrón-hueco tanto en la capa de pared 31a como en la capa 31e (la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d). En este caso, tal como se ha descrito anteriormente, el intervalo entre la capa de pared 31a y la barrera 31b es mayor que la energía térmica que absorbe el portador. Por lo tanto, cuando el portador generado en la capa de pared 31a se desplaza en la parte central de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma, la barrera 31b impide que el portador caiga a la capa 31e (la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d). Por consiguiente, el portador se puede desplazar en el interior de la capa de pared 31a que está intercalada por las barreras 31b, 31b; y puede pasar a través de la estructura laminar de la barrera 31b y de la capa 31e dispuesta en la parte central de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma, mediante conducción por efecto túnel. De este modo, el hueco que ha alcanzado la parte extrema del lado de la capa p 21 de la capa i 31 (es decir, la capa 31ap en contacto con la capa p 21) se mueve directamente a la capa p 21. En cambio, el electrón que ha alcanzado la capa 31an pasa a través de la barrera 31b y de la capa 31en y se desplaza a la capa n 22, mediante conducción por efecto túnel. Por otra parte, el portador generado en la capa 31e se desplaza entre las capas 31e, 31e, ... mediante conducción por efecto túnel, alcanzando el hueco la capa 31ep y alcanzando el electrón la capa 31en.

Tal como se muestra en las figuras 5 y 6, en la célula solar 30, la barrera 31b no está dispuesta entre la capa 31ep y la capa p 21, ni entre la capa 31en y la capa n 22. De este modo, el hueco existente en la capa 31ep se puede transferir a la capa p 21 mediante conducción por efecto túnel, sin ser obstruido por la barrera 31b. Análogamente, el electrón existente en la capa 31en se puede transferir a la capa n 22 mediante conducción por efecto túnel, sin ser obstruido por la barrera 31b. En este caso, la capa 31e (que incluye la capa 31ep y la capa 31en) constituida por la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d tiene un nivel cuántico discreto; y el número de portadores que puede incorporar cada una de las capas 31e, 31e, ... es limitado. Además, se asume que el hueco se incorpora a la capa 31ep desde el nivel profundo (es decir, un nivel cuántico en el que la energía es relativamente baja); y que el electrón se incorpora asimismo a la capa 31en desde el nivel profundo (es decir, un nivel cuántico en el que la energía es relativamente baja). Por lo tanto, el hueco que se incorpora a la capa 31ep, una vez que el hueco ya se ha incorporado, entra al nivel poco profundo (es decir, un nivel cuántico en el que la energía es relativamente alta) de la capa 31ep; y el electrón que se incorpora a la capa 31en, una vez que electrón ya se ha incorporado, entra al nivel poco profundo (es decir, un nivel cuántico en el que la energía es relativamente alta) de la capa 31en. La energía de barrera es baja para que el hueco que ha entrado al nivel poco profundo de la capa 31bp la atraviese con el fin de desplazarse a la capa p 21; y la distancia a atravesar es corta. Por lo tanto, el hueco se puede mover fácilmente desde la capa 31ep a la capa p 21 mediante conducción por efecto túnel. Análogamente, la energía de barrera es baja para que el electrón que ha entrado al nivel poco profundo de la capa 31en la atraviese con el fin de moverse a la capa n 22; y la distancia a atravesar es corta. Por lo tanto, el electrón se puede mover fácilmente desde la capa 31en a la capa n 22 mediante conducción por efecto túnel. De este modo, en la célula solar 30 que comprende la capa 31ep y la capa 31en, la transferencia del hueco a la capa p 21 mediante conducción por efecto túnel y la transferencia del electrón a la capa n 22 mediante conducción por efecto túnel no están obstaculizadas por la barrera 31b; de este modo, es posible extraer fácilmente el portador desde la capa 31ep y la capa 31en constituidas por la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d. Y facilitando extraer el portador desde la capa húmeda y el punto cuántico, se puede mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, es posible disponer una célula solar 30 que pueda mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

Tal como se ha descrito anteriormente, el punto cuántico 31d tiene un nivel cuántico discreto; y el nivel cuántico del punto cuántico, especialmente en el lado de menor energía, es más discreto que el de las otras estructuras cuánticas (tal como un pozo cuántico y un hilo cuántico). Además, se asume que el tiempo necesario para que el portador relaje su energía entre los niveles cuánticos discretos es mayor que el tiempo necesario para que el portador relaje su energía entre los niveles cuánticos continuos. Por lo tanto, con la célula solar 30 dotada del cuanto 31d, es posible prolongar el periodo de tiempo en el que el electrón y el hueco se recombinan; como resultado, se puede mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

Además, el gradiente de la concentración de portadores en la dirección de la corriente eléctrica se genera en la capa de pared 31a de la célula solar 30. En la capa p 21 o en la parte extrema del lado de la capa p 21 de la capa i 31, el electrón es el portador minoritario; y en la capa n 22 o en la parte extrema del lado de la capa n 22 de la capa i 31, el hueco es el portador minoritario. Por lo tanto, incluso si no está dispuesta la barrera 31b en el lado de la capa p 21 de la capa 31ep, no cae un gran número de electrones a la capa 31ep, y por lo tanto no se produce una gran pérdida de energía. Análogamente, incluso si no está dispuesta la barrera 31b en el lado de la capa n 22 de la capa 31en, no cae un gran número de huecos a la capa 31en, y por lo tanto no se produce una gran pérdida de energía.

En la célula solar 30, la capa de pared 31a puede estar constituida por el mismo material que el de la capa de pared 23a de la célula solar 20; y la capa 31e (la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d) puede estar constituida por el mismo material que el del punto cuántico 23b de la célula solar 20. Además, en la célula solar 30, la barrera 31b puede estar constituida por un material que tenga una banda prohibida más ancha que la del material que constituye la capa de pared 31a. Asimismo, en la célula solar 30, la capa i 31 se puede fabricar repitiendo las etapas de: formar la capa 31en mediante el procedimiento MBE, sobre la cara superior de la capa 22 formada en la superficie del electrodo 15 mediante el procedimiento MBE o similar; formar la barrera 31b mediante el procedimiento MBE, sobre la cara superior de la capa 31en formada de este modo; y formar la capa de pared 31a mediante el procedimiento MBE sobre la cara superior de la barrera 31b formada de este modo; y formar finalmente la capa de pared 31a sobre la cara superior de la capa 31ep, después de repetir las etapas anteriores. Además, la capa n 22, el electrodo 14 y el electrodo 15 se pueden fabricar de mismo modo que en el caso de la célula solar 20.

En la descripción anterior de la célula solar de la presente invención, se ha mostrado la realización en la que el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n es igual o menor que el nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que se puede incorporar un electrón) de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i. Sin embargo, la célula solar de la presente invención no se limita a esta realización. En la célula solar de la presente invención, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n puede ser mayor que el nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que se puede incorporar un electrón) de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i. Sin embargo, para que el electrón incorporado en el nivel cuántico de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i se transfiera fácilmente a la capa n mediante conducción por efecto túnel, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n es preferentemente igual o menor que el nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que se puede incorporar un electrón) de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i.

Además, en la descripción anterior de la célula solar de la presente invención, se ha mostrado la realización en la que el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p es igual o mayor que el nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que se puede incorporar un hueco) de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i. Sin embargo, la célula solar de la presente invención no se limita a esta realización. En la célula solar de la presente invención, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p puede ser menor que el nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que se puede incorporar un hueco) de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i. Sin embargo, para que el hueco incorporado en el nivel cuántico de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i se transfiera fácilmente a la capa p mediante conducción por efecto túnel, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p es preferentemente igual o mayor que el nivel fundamental (es decir, un nivel fundamental en el que se puede incorporar un hueco) de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i.

4. Cuarta realización

La figura 7 es una vista en sección transversal que muestra una célula solar 40 de acuerdo con una cuarta realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 7. En la figura 7, a los elementos que tienen la misma estructura que los de la célula solar 20, se asignan los mismos numerales de referencia que los utilizados en las figuras 3 y 4, y se omiten adecuadamente las explicaciones de los mismos.

Tal como se muestra en la figura 7, la célula solar 40 comprende: una capa p 41; una capa n 42; una capa i 23 dispuesta entre la capa p 41 y la capa n 42; una capa p⁺ 43 conectada a la capa p 41; un primer electrodo 14

conectado a la capa p^+ 43; una capa n^+ 44 conectada a la capa n 42; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n^+ 44. La capa p 41 está constituida por el mismo material que el de la capa p 21 de la célula solar 20. El grosor de la capa p 41 es menor que el de la capa p 21 de la célula solar 20; y la concentración de huecos de la capa p 41 es aproximadamente igual que la de la capa p 21. Además, la capa n 42 está constituida por el mismo material que el de la capa n 22 de la célula solar 20. El grosor de la capa n 42 es menor que el de la capa n 22 de la célula solar 20; y la concentración de electrones de la capa n 42 es aproximadamente igual que la de la capa n 22. La capa i 23 comprende una capa de pared 23a, y un punto cuántico 23b dispuesto en la capa de pared 23a. La capa de pared 23a está constituida por el primer semiconductor. Está contenida una impureza de tipo n en la capa de pared 23ap; está contenida una impureza de tipo p en la capa de pared 23an. En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la capa de pared 23a aparte de la capa de pared 23ap y de la capa de pared 23an. Es decir, cuando se define la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i 23 en una dirección del grosor de la misma como $Cn41$, se define la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona del lado de la capa p 41 de la capa i 23 como $Cn42$, se define la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 23 en la dirección del grosor de la misma como $Cp41$ y se define la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona del lado de la capa n 42 de la capa i 23 como $Cp42$, se satisfacen las relaciones $Cn41 < Cn42$ y $Cp41 < Cp42$ en la célula solar 40. Además, el punto cuántico 23b está constituido por un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor; y la separación entre los puntos cuánticos adyacentes 23b, 23b está configurada para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel. Además, la concentración de huecos de la capa p^+ 43 dispuesta entre la capa p 41 y el primer electrodo 14 es mayor que la de la capa p 41; y la capa p^+ 43 está constituida por un semiconductor que tiene una banda prohibida más ancha que la del semiconductor que constituye la capa p 41. La concentración de electrones de la capa n^+ 44 dispuesta entre la capa n 42 y el segundo electrodo 15 es mayor que la de la capa n 42; y la capa n^+ 44 está constituida por un semiconductor que tiene una banda prohibida más ancha que la del semiconductor que constituye la capa n 42.

La figura 8 es un diagrama de bandas de la célula solar 40. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 8, y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior de la hoja. En la figura 8, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 40, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 8, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. A continuación, proseguirán las explicaciones de la célula solar 40 haciendo referencia a las figuras 7 y 8.

Tal como se muestra en la figura 8, en la célula solar 40, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 41 y la capa n 42, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda de la capa i 23, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 23a y la inclinación de la banda del punto cuántico 23b están suavizadas mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 23ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 23an. Además, dado que la célula solar 40 comprende la capa p 41 que tiene una concentración de huecos elevada, y la capa n 42 que tiene una concentración de electrones elevada, las inclinaciones de la banda del extremo superior de la banda de valencia en la capa p 41 y del extremo inferior de la banda de conducción en la capa n 42 son pronunciadas.

En la célula solar 40, la capa p^+ 43 está dispuesta entre la capa p 41 y el primer electrodo 14; y la capa n^+ 44 está dispuesta entre la capa n 42 y el segundo electrodo 15. Tal como se muestra en la figura 8, la banda prohibida de un semiconductor que constituye la capa p^+ 43 es más ancha que la del semiconductor que constituye la capa p 41. El nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ 43 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ 43 de la capa p 41. Al disponer entre la capa p 41 y el primer electrodo 14 la capa p^+ 43 que tiene dichas propiedades y que está constituida por el material semiconductor que tiene una concentración de huecos mayor que la de la capa p 41, en la célula solar 40, se forma un potencial triangular que tiene un nivel cuántico en la banda de valencia de la capa p 41. El potencial triangular formado en la banda de valencia de la capa p 41 tiene una serie de niveles cuánticos. Un nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ 43 de la capa p 41. La concentración de huecos y el grosor de la capa p 41, y la concentración de huecos y el grosor de la capa p^+ 43 se controlan de tal modo que el nivel fundamental se haga aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p^+ 43.

Por otra parte, tal como se muestra en la figura 8, la banda prohibida de un semiconductor que constituye la capa n^+ 44 es más ancha que la del semiconductor que constituye la capa n 42. El nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n 42 de la capa n^+ 44 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ 44 de la capa n 42. Al disponer entre la capa n 42 y el segundo electrodo 15 la capa n^+ 44 que tiene dichas propiedades y que está constituida por el material semiconductor que tiene una concentración de electrones mayor que la de la capa n 42, en la célula solar 40, se forma un potencial triangular que tiene un nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n 42. El potencial triangular formado en la banda de conducción de la capa n 42 tiene una serie de niveles cuánticos. El nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n

42 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ 44 de la capa n 42. La concentración de electrones y el grosor de la capa n 42 y la concentración de electrones y el grosor de la capa n^+ 44 se controlan de tal modo que el nivel fundamental se hace aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo 15 de la capa n^+ 44.

Además, tal como se muestra en la figura 8, en la célula solar 40, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción en la capa p^+ 43 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción en la capa p 41. Y el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia en la capa n^+ 44 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia en la capa n 42.

En la célula solar 40, cuando se hace incidir luz sobre la capa i 23, se genera un par electrón-hueco tanto en la capa de pared 23a como en el punto cuántico 23b. Por lo menos una parte de los portadores generados en la capa de pared 23a se desplazan en la capa de pared 23a, alcanzando el hueco la capa de pared 23ap y alcanzando el electrón la capa de pared 23an. Y por lo menos una parte de los huecos que han alcanzado la capa de pared 23ap llegan directamente a la capa p 41, mientras que por lo menos una parte de los huecos restantes que han alcanzado la capa de pared 23ap caen al punto cuántico 23bp. Además, por lo menos una parte de los electrones que han alcanzado la capa de pared 23an llegan directamente a la capa n 42, mientras que por lo menos una parte de los electrones restantes que han alcanzado la capa de pared 23an caen al punto cuántico 23bn. En este caso, tal como se ha descrito anteriormente, en la célula solar 40, se forma un nivel cuántico en la banda de valencia de la capa p 41, y se forma asimismo un nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n . Por lo tanto, el hueco que ha alcanzado la capa p 41 desde la capa de pared 23ap se incorpora al nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41. Tal como se muestra en la figura 8, el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 está situado por encima del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema del lado de la capa p 41 de la capa p^+ 43. Por lo tanto, el hueco incorporado al nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 alcanza la capa p^+ 43 al ser excitado térmicamente. En cambio, el electrón que ha alcanzado la capa n 42 desde la capa de pared 23an se incorpora al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42. Tal como se muestra en la figura 8, el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n 42 de la capa n^+ 44. Por lo tanto, el electrón incorporado al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 alcanza la capa n^+ 44 al ser excitado térmicamente.

Por otra parte, tal como se ha descrito anteriormente, la banda prohibida del segundo semiconductor que constituye el punto cuántico 23b es más estrecha que la del primer semiconductor que constituye la capa de pared 23a. De este modo, por lo menos una parte de los portadores generados en la capa de pared 23a caen al punto cuántico 23b. En este caso, en la célula solar 40, la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de los puntos cuánticos adyacentes 23b, 23b se reduce al contener la impureza de tipo n en la capa de pared 23ap y la impureza de tipo p en la capa de pared 23an. Por lo tanto, los portadores que han caído al punto cuántico 23b se pueden desplazar fácilmente entre los puntos cuánticos 23b, 23b, ... mediante conducción por efecto túnel, alcanzando el hueco el punto cuántico 23bp y alcanzando el electrón el punto cuántico 23bn. Por otra parte, los portadores generados en el punto cuántico 23b se desplazan análogamente entre los puntos cuánticos 23b, 23b, ... mediante conducción por efecto túnel, alcanzando el hueco el punto cuántico 23bp y alcanzando el electrón el punto cuántico 23bn. El hueco que ha alcanzado de este modo el punto cuántico 23bp es transferido mediante conducción por efecto túnel, incorporándose de ese modo al nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41. Y el hueco incorporado a este nivel cuántico se excita térmicamente, alcanzando por lo tanto la capa p^+ 43. En cambio, el electrón que ha alcanzado el punto cuántico 23bn es transferido mediante conducción por efecto túnel, incorporándose de ese modo al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42. Y el electrón incorporado a este nivel cuántico se excita térmicamente, alcanzando la capa n^+ 44.

De este modo, de acuerdo con la célula solar 40, el hueco se puede transferir a la capa p^+ 43 por medio del nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41; y el electrón se puede transferir a la capa n^+ 44 por medio del nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42. En este caso, el nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 está situado por debajo del extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ 43 de la capa p 41. Por lo tanto, es posible reducir la pérdida de energía del hueco al transferirlo a través del nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41. Además, el nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p^+ 43. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 40, es posible reducir la pérdida de energía provocada en el momento en que el hueco incorporado en el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 se desplaza a la capa p^+ 43.

Análogamente, el nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 está situado por encima del extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ 44 de la capa n 42. Por lo tanto, es posible reducir la pérdida de energía del electrón al transferirlo a través del nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42. Además, el nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo

inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo 15 de la capa n⁺ 44. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 40, es posible reducir la pérdida de energía causada en el momento en que el electrón incorporado al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 se desplaza a la capa n⁺ 44. Además, en la célula solar 40, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción en la capa p⁺ 43 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción en la capa p 41; por lo tanto, es posible impedir que el electrón, como portador minoritario en la proximidad de la capa p 41, se desplace al primer electrodo 14. Análogamente, en la célula solar 40, el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la capa n⁺ 44 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia en la capa n 42; por lo tanto, es posible impedir que el hueco, como portador minoritario en la proximidad de la capa n 42, se desplace al segundo electrodo 15. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 40, es posible impedir la recombinación del electrón y el hueco, mejor que en el caso de la célula solar 20.

En la célula solar 40, la capa p 41 puede estar constituida del mismo modo que la capa p 21 de la célula solar 20, excepto porque la capa p 41 se fabrica más delgada que la capa p 21 de la célula solar 20. Además, la capa n 42 se puede fabricar del mismo modo que la capa n 22 de la célula solar 20, excepto porque la capa n 42 se fabrica más delgada que la capa n 22 de la célula solar 20. La capa p⁺ 43 puede estar constituida, por ejemplo, por un material obtenido dopando, en un material semiconductor que tiene una banda prohibida más ancha que la del material semiconductor que constituye la capa de pared 23a, más cantidad de impureza de tipo p que en el caso de la capa p 41. Además, la capa n⁺ 44 puede estar constituida, por ejemplo, mediante un material obtenido dopando, en un material semiconductor que tiene una banda prohibida más ancha que la del semiconductor para constituir la capa de pared 23a, más cantidad de la impureza de tipo n que en el caso de la capa n 42. En la célula solar 40, la capa p 41 y la capa p⁺ 43 se pueden fabricar del mismo modo que la capa p 21 de la célula solar 20; y la capa n 42 y la capa n⁺ 44 se pueden fabricar del mismo modo que la capa n 22 de la célula solar 20. Además, la capa i 23, el primer electrodo 14 y el segundo electrodo 15 se pueden fabricar del mismo modo que en el caso de la célula solar 20.

5. Quinta realización

La figura 9 es una vista en sección transversal que muestra una célula solar 50 de acuerdo con una quinta realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 9. En la figura 9, a los elementos que tienen la misma estructura que los de la célula solar 40, se asignan los mismos numerales de referencia que los utilizados en las figuras 7 y 8, y se omiten adecuadamente las explicaciones de los mismos.

Tal como se muestra en la figura 9, la célula solar 50 comprende: una capa p 41; una capa n 42; una capa i 23 dispuesta entre la capa p 41 y la capa n 42; una capa p⁺ 51 conectada a la capa p 41; un primer electrodo 14 conectado a la capa p⁺ 51; una capa n⁺ 52 conectada a la capa n 42; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n⁺ 52. La capa i 23 comprende una capa de pared 23a, y un punto cuántico 23b dispuesto en la capa de pared 23a. La capa de pared 23a está constituida por un primer semiconductor. Está contenida una impureza de tipo n en la capa de pared 23ap; está contenida una impureza de tipo p en la capa de pared 23an. En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la capa de pared 23a aparte de la capa de pared 23ap y de la capa de pared 23an. Es decir, cuando se define la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i 23 en una dirección del grosor de la misma como Cn51, se define la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona del lado de la capa p 41 de la capa i 23 como Cn52, se define la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 23 en la dirección del grosor de la misma como Cp51 y se define la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona del lado de la capa n 42 de la capa i 23 como Cp52, se satisfacen las relaciones $Cn51 < Cn52$ y $Cp51 < Cp52$ en la célula solar 50.

Además, el punto cuántico 23b está constituido por un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor; y la separación entre los puntos cuánticos adyacentes 23b, 23b está configurada para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel. Además, la concentración de huecos de la capa p⁺ 51 dispuesta entre la capa p 41 y el primer electrodo 14 es mayor que la de la capa p⁺ 43 de la célula solar 40; y la capa p⁺ 51 está constituida por un semiconductor que tiene una banda prohibida más ancha que la del semiconductor que constituye la capa p 41. La concentración de electrones de la capa n⁺ 52 dispuesta entre la capa n 42 y el segundo electrodo 15 es mayor que la de la capa n⁺ 44 de la célula solar 40; y la capa n⁺ 52 está constituida por un semiconductor que tiene una banda prohibida más ancha que la del semiconductor que constituye la capa n 42.

La figura 10 es un diagrama de bandas de la célula solar 50. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 10, y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior de la hoja. En la figura 10, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 50, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 10, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. A continuación, proseguirán las explicaciones de la célula solar 50 haciendo referencia a las figuras 7 a 10.

Tal como se muestra en la figura 10, en la célula solar 50, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 41 y la capa n 42, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda de la capa i 23, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 23a y la inclinación de la banda del punto cuántico 23b están suavizadas

mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 23ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 23an. En la célula solar 50, la capa p^+ 51 está dispuesta entre la capa p 41 y el primer electrodo 14; y la capa n^+ 52 está dispuesta entre la capa n 42 y el segundo electrodo 15. Tal como se muestra en la figura 10, la banda prohibida del semiconductor que constituye la capa p^+ 51 es más ancha que la de semiconductor que constituye la capa p 41. El nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p 41 de la capa p^+ 51 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ 51 de la capa p 41. Al disponer entre la capa p 41 y el primer electrodo 14 la capa p^+ 51 que tiene dichas propiedades y que está constituida por el material semiconductor que tiene una concentración de huecos mayor que la de la capa p^+ 43 de la célula solar 40, en la célula solar 50, se forma en la banda de valencia de la capa p 41 un potencial triangular que tiene un nivel cuántico. El potencial triangular formado en la banda de valencia de la capa p 41 tiene una serie de niveles cuánticos. El nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p^+ 51 de la capa p 41. La concentración de huecos y el grosor de la capa p 41, y la concentración de huecos y el grosor de la capa p^+ 51 se controlan de tal modo que el nivel fundamental se haga aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p^+ 51.

Por otra parte, tal como se muestra en la figura 10, la banda prohibida del semiconductor que constituye la capa n^+ 52 es más ancha que la del semiconductor que constituye la capa n 42. El nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ 52 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ 52 de la capa n 42. Al disponer entre la capa n 42 y el segundo electrodo 15 la capa n^+ 52 que tiene dichas propiedades y que está constituida por el material semiconductor que tiene una concentración de electrones mayor que la de la capa n^+ 44 de la célula solar 40, en la célula solar 50, se forma en la banda de conducción de la capa n 42 un potencial triangular que tiene un nivel cuántico. El potencial triangular formado en la banda de conducción de la capa n 42 tiene una serie de niveles cuánticos. El nivel fundamental del nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ 52 de la capa n 42. La concentración de electrones y el grosor de la capa n 42 y la concentración de electrones y el grosor de la capa n^+ 52 se controlan de tal modo que el nivel fundamental se hace aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo 15 de la capa n^+ 52.

Además, tal como se muestra en la figura 10, en la célula solar 50, el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción en la capa p^+ 51 está situado por encima del nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción en la capa p 41. Y el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia en la capa n^+ 52 está situado por debajo del nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia en la capa n 42.

Además, la célula solar 50 está dotada de la capa p^+ 51 que tiene una concentración de huecos mayor que la de la capa p^+ 43 de la célula solar 40. Por lo tanto, tal como se muestra en la figura 10, la inclinación de la banda del extremo superior de la banda de valencia del lado de la capa p 41 de la capa p^+ 51 es más pronunciada que la del extremo superior de la banda de valencia del lado de la capa p 41 de la capa p^+ 43 de la célula solar 40. Con esta configuración de la célula solar 50, es posible reducir la distancia del movimiento del hueco que se transfiere desde el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 a la capa p^+ 51 mediante conducción por efecto túnel. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 50, el hueco existente en el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 se puede transferir fácilmente a la capa p^+ 51 mediante conducción por efecto túnel. De este modo, de acuerdo con la célula solar 50, una manera de transferir el hueco mediante conducción por efecto túnel se puede añadir fácilmente al patrón de desplazamiento del hueco en el momento en que el hueco existente en el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 se transfiere a la capa p^+ 51; por lo tanto, el hueco se puede transferir al primer electrodo 14 más fácilmente que en el caso de la célula solar 40.

Por otra parte, la célula solar 50 está dotada de la capa n^+ 52 que tiene una concentración de electrones mayor que la de la capa n^+ 44 de la célula solar 40. Por lo tanto, tal como se muestra en la figura 10, la inclinación de la banda del extremo inferior de la banda de conducción en el lado de la capa n 42 de la capa n^+ 52 es más pronunciada que la del extremo inferior de la banda de conducción en el lado de la capa n 42 de la capa n^+ 44 de la célula solar 40. Con esta configuración de la célula solar 50, es posible reducir la distancia del movimiento del electrón que se está transfiriendo desde el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 a la capa n^+ 52 mediante conducción por efecto túnel. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 50, el electrón existente en el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 se puede transferir fácilmente a la capa n^+ 52 mediante conducción por efecto túnel. De este modo, de acuerdo con la célula solar 50, una manera de transferir el electrón mediante conducción por efecto túnel se puede añadir fácilmente al patrón de desplazamiento del electrón en el momento en que el electrón existente en el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 se transfiere a la capa n^+ 52; por lo tanto, el electrón se puede transferir al segundo electrodo 15 más fácilmente que en el caso de la célula solar 40. De este modo, de acuerdo con la célula solar 50, es posible mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica mejor que en el caso de la célula solar 40.

En la célula solar 50, la capa p^+ 51 puede estar constituida, por ejemplo, por un material obtenido dopando, en un material semiconductor que tenga una banda prohibida más ancha que la del semiconductor para fabricar la capa de

pared 23a, más cantidad de impureza de tipo p que en el caso de la capa p⁺ 43 de la célula solar 40. Además, la capa n⁺ 52 puede estar constituida, por ejemplo, mediante un material obtenido dopando, en un material semiconductor que tenga una banda prohibida más ancha que la del semiconductor para constituir la capa de pared 23a, más cantidad de la impureza de tipo n que en el caso de la capa n⁺ 44 de la célula solar 40. En la célula solar 50, la capa p⁺ 51 se puede fabricar del mismo modo que la capa p⁺ 43 de la célula solar 40; y la capa n⁺ 52 se puede fabricar del mismo modo que la capa n⁺ 44 de la célula solar 40. Los otros elementos de la célula solar 50 se pueden fabricar del mismo modo que en el caso de la célula solar 40.

6. Sexta realización

La figura 11 es una vista en sección transversal que muestra una célula solar 60 de acuerdo con una sexta realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 11. En la figura 11, a los elementos que tienen la misma estructura que los de la célula solar 50, se asigna el mismo numeral de referencia que se utiliza en las figuras 9 y 10, y se omiten adecuadamente las explicaciones de los mismos.

Tal como se muestra en la figura 11, la célula solar 60 comprende: una capa p 41; una capa n 42; una capa i 23 dispuesta entre la capa p 41 y la capa n 42; una capa de aislamiento 61 conectada a la capa p 41; una capa p⁺ 51 conectada a la capa de aislamiento 61; un primer electrodo 14 conectado a la capa p⁺ 51; una capa de aislamiento 62 conectada a la capa n 42; una capa n⁺ 52 conectada a la capa de aislamiento 62; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n⁺ 52. La capa i 23 comprende una capa de pared 23a, y un punto cuántico 23b dispuesto en la capa de pared 23a. La capa de pared 23a está constituida por un primer semiconductor. Está contenida una impureza de tipo n en la capa de pared 23ap; está contenida una impureza de tipo p en la capa de pared 23an. En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la capa de pared 23a aparte de la capa de pared 23ap y de la capa de pared 23an. Es decir, cuando se define la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i 23 en una dirección del grosor de la misma como Cn61, se define la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona del lado de la capa p 41 de la capa i 23 como Cn62, se define la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 23 en la dirección del grosor de la misma como Cp61 y se define la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona del lado de la capa n 42 de la capa i 23 como Cp62, se satisfacen las relaciones Cn61<Cn62 y Cp61<Cp62 en la célula solar 60. Además, el punto cuántico 23b está constituido por un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor; y la separación entre los puntos cuánticos adyacentes 23b, 23b está configurada para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel. Además, la capa de aislamiento 61 dispuesta entre la capa p 41 y la capa p⁺ 51 está configurada para tener un grosor que permita que el hueco pase mediante conducción por efecto túnel; y la capa de aislamiento 62 dispuesta entre la capa n 42 y la capa n⁺ 52 está configurada para tener un grosor que permita que el electrón pase mediante conducción por efecto túnel.

La figura 12 es un diagrama de bandas de la célula solar 60. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 12, y la energía de un hueco es mayor en el lado inferior de la hoja. En la figura 12, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 60, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 12, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. A continuación, proseguirán las explicaciones de la célula solar 60 haciendo referencia a las figuras 9 a 12.

Tal como se muestra en la figura 12, en la célula solar 60, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 41 y la capa n 42, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda de la capa i 23, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 23a y la inclinación de la banda del punto cuántico 23b están suavizadas mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 23ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 23an. Además, en la célula solar 60, la capa de aislamiento 61 está dispuesta entre la capa p 41 y la capa p⁺ 51. Con esta configuración, resulta fácil ampliar la diferencia entre el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p 41 de la capa de aislamiento 61 y el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa de aislamiento 61 de la capa p 41, permitiendo fácilmente por lo tanto la formación de un potencial triangular que tiene un nivel cuántico, en la banda de valencia de la capa p 41. Análogamente, en la célula solar 60, la capa de aislamiento 62 está dispuesta entre la capa n 42 y la capa n⁺ 52. Con esta configuración, resulta fácil ampliar la diferencia entre el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n 42 de la capa de aislamiento 62 y el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa de aislamiento 62 de la capa n 42, permitiendo por lo tanto formar fácilmente un potencial triangular que tiene un nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n 42.

Tal como se ha descrito anteriormente, al formar el potencial triangular que tiene el nivel cuántico en la banda de valencia de la capa p 41, resulta posible reducir la pérdida de energía del hueco provocada en el momento en que el hueco se desplaza desde la capa i 23 al primer electrodo 14. Asimismo, al formar en la banda de conducción de la capa n 42 el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, resulta posible reducir la pérdida de energía del electrón provocada en el momento en que el electrón se desplaza desde la capa i 23 al segundo electrodo 15. Por lo tanto, de acuerdo con la célula solar 60, se puede mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

En la célula solar 60, el material constituyente de las capas aislantes 61, 62 no está limitado siempre que permita la formación del potencial triangular, y siempre que pueda resistir el entorno en el que se utiliza la célula solar. Por ejemplo, se puede utilizar GaN, que es un semiconductor de banda amplia no dopado, y película de óxido metálico. Además, el grosor de las capas de aislamiento 61, 62 no está limitado siempre que permita que el portador pase mediante conducción por efecto túnel; por ejemplo, puede ser de aproximadamente 2 nm. Las capas de aislamiento 61, 62 se pueden fabricar mediante un procedimiento conocido, tal como el procedimiento MBE. Los otros elementos de la célula solar 60 se pueden fabricar del mismo modo que en el caso de la célula solar 50.

7. Séptima realización

La figura 13 es una vista en sección que muestra una célula solar 70, de acuerdo con una séptima realización. Algunos de los numerales de referencia se omiten en la figura 13. En la figura 13, a los elementos que tienen la misma estructura que los de la célula solar 30 o de la célula solar 50, se proporcionan los mismos numerales de referencia que se utilizan en las figuras 5 y 6, o en las figuras 9 y 10, y se omiten adecuadamente las explicaciones de los mismos.

Tal como se muestra en la figura 13, la célula solar 70 comprende: una capa p 41; una capa n 42; una capa i 31 dispuesta entre la capa p 41 y la capa n 42; una capa p⁺ 51 conectada a la capa p 41; un primer electrodo 14 conectado a la capa p⁺ 51; una capa n⁺ 52 conectada a la capa n 42; y un segundo electrodo 15 conectado a la capa n⁺ 52. La capa i 31 está configurada en cierto modo laminando una capa de pared 31a; una barrera 31b; y una capa 31e dotada de una capa húmeda 31c y un punto cuántico 31d. La capa de pared 31a está constituida por un primer semiconductor; y la capa 31e está constituida por un segundo semiconductor que tiene una banda prohibida más estrecha que la del primer semiconductor. En la célula solar 70, está configurada una separación entre las capas adyacentes 31e, 31e para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel. Y está configurada una separación entre las capas adyacentes 31a, 31a para permitir que se transfiera un portador mediante conducción por efecto túnel.

En la célula solar 70, el cuanto 31d se forma mediante un proceso de auto-ordenamiento utilizando un procedimiento MBE; y se forma en la capa húmeda 31c. Cada una de las barreras 31b, 31b, ... está dispuesta entre las capas 31e, 31e, ... y las capas de pared 31a, 31a, ..., que están dispuestas en el centro de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma (es decir, una dirección de arriba abajo de la hoja de la figura 13). Y la barrera 31b está constituida por un material (un semiconductor o un aislante) que tiene una banda prohibida más ancha que la del primer semiconductor. En cambio, la barrera 31b no está dispuesta en el lado de la capa p 41 de la capa 31e, y no está dispuesta en el lado de la capa n 42 de la capa 31e. Además, en la célula solar 70, se contiene una impureza de tipo n en la capa de pared 31ap; y se contiene una impureza de tipo p en la capa de pared 31an. En cambio, la impureza de tipo n y la impureza de tipo p no están contenidas en la zona de la capa de pared 31a aparte de la capa de pared 31ap y de la capa de pared 31an. Es decir, cuando se define la concentración de la impureza de tipo n en el centro de la capa i 31 en una dirección del grosor de la misma como Cn71, se define la concentración de la impureza de tipo n contenida en una zona del lado de la capa p 41 de la capa i 31 como Cn72, se define la concentración de la impureza de tipo p en el centro de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma como Cp71 y se define la concentración de la impureza de tipo p contenida en una zona del lado de la capa n 42 de la capa i 31 como Cp72, se satisfacen las relaciones $Cn71 < Cn72$ y $Cp71 < Cp72$ en la célula solar 70.

La figura 14 es un diagrama de bandas de la célula solar 70. La energía de un electrón es mayor en el lado superior de la hoja de la figura 14, y la energía de un cuerpo hueco es mayor en el lado inferior de la hoja de la figura 14. En la figura 14, se proporcionan los numerales de referencia correspondientes a cada elemento de la célula solar 70, y se omiten algunos de los numerales. En la figura 14, la flecha desde el lado izquierdo de la hoja hacia el lado derecho muestra un patrón de desplazamiento de un electrón; y la flecha desde el lado derecho de la hoja hacia el lado izquierdo muestra un patrón de desplazamiento de un hueco. En adelante, proseguirán las explicaciones de la célula solar 70 haciendo referencia a las figuras 9, 10, 13 y 14.

Tal como se muestra en la figura 14, en la célula solar 70, se genera un campo eléctrico interno mediante la capa p 41 y la capa n 42, y la banda está inclinada. Y la inclinación de la banda en la capa i 31, en otras palabras, la inclinación de la banda de la capa de pared 31a y la inclinación de la banda de la capa 31e (la inclinación de la banda de la capa húmeda 31c y del punto cuántico 31d) se suavizan mediante la impureza de tipo n contenida en la capa de pared 31ap y mediante la impureza de tipo p contenida en la capa de pared 31an. Además, tal como se muestra en la figura 14, en la célula solar 70, una banda mala de un material que constituye la barrera 31b es más ancha que la del primer semiconductor que constituye la capa de pared 31a. Existe un intervalo entre el extremo inferior de la banda de conducción en la barrera 31b y el extremo inferior de la banda de conducción en la capa de pared 31a; y entre el extremo superior de la banda de valencia en la barrera 31b y el extremo superior de la banda de valencia en la capa de pared 31a. Y existe un intervalo entre el extremo inferior de la banda de conducción en la barrera 31b y el extremo inferior de la banda de conducción en la capa 31e; y entre el extremo superior de la banda de valencia en la barrera 31b y el extremo superior de la banda de valencia en la capa 31e. Estos intervalos son mayores que la energía térmica que absorbe el portador en el entorno de temperaturas en el que se utiliza la célula solar 70; y tienen una altura a la que permiten que el portador generado en la capa 31e se transfiera entre las capas adyacentes 31e, 31e mediante conducción por efecto túnel.

En la célula solar 70, cuando se hace incidir luz sobre la capa i 31, se genera un par electrón-hueco tanto en la capa de pared 31a como en la capa 31e (la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d). En este caso, tal como se ha descrito anteriormente, el intervalo entre la capa de pared 31a y la barrera 31b es mayor que la energía térmica que absorbe el portador. Por lo tanto, cuando el portador generado en la capa de pared 31a se desplaza en la parte central de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma, la barrera 31b impide que el portador caiga a la capa 31e (la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d). Por consiguiente, el portador se puede desplazar en el interior de la capa de pared 31a intercalada por las barreras 31b, 31b; y puede pasar a través de la estructura laminar de la barrera 31b y de la capa 31e dispuesta en la parte central de la capa i 31 en la dirección del grosor de la misma, mediante conducción por efecto túnel. De este modo, el hueco que ha alcanzado la parte extrema en el lado de la capa p 41 de la capa i 31 (es decir, la capa 31ap en contacto con la capa p 41) se desplaza directamente al nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41. En cambio, el electrón que ha llegado a la capa 31an pasa a través de la barrera 31b y de la capa 31en y se desplaza al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 mediante conducción por efecto túnel. Por otra parte, el portador generado en la capa 31e se desplaza entre las capas 31e, 31e, ... mediante conducción por efecto túnel, alcanzando el hueco la capa 31ep y alcanzando el electrón la capa 31en.

Tal como se muestra en las figuras 13 y 14, en la célula solar 70, la barrera 31b no está dispuesta entre la capa 31ep y la capa p 41, ni entre la capa 31en y la capa n 42. Además, la inclinación de la banda del extremo superior de la banda de valencia en la capa p 41 y la inclinación de banda de la banda de conducción en la capa n 42 son pronunciadas. Por lo tanto, el hueco existente en la capa 31ep se puede transferir al nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 mediante conducción por efecto túnel, sin ser obstruido por la barrera 31b. Análogamente, el electrón existente en la capa 31en se puede transferir al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 mediante conducción por efecto túnel, sin ser obstruido por la barrera 31b. De este modo, en la célula solar 70 dotada de la capa 31ep y de la capa 31en, al hacer pronunciadas las inclinaciones de la banda de la capa p y de la capa n 42, es posible extraer fácilmente el portador desde la capa 31ep y la capa 31en, que están constituidas por la capa húmeda 31c y el punto cuántico 31d. En este caso, tal como se muestra en la figura 14, la inclinación de la banda del extremo superior de la banda de valencia del lado de la capa p 41 de la capa p^+ 51, y la inclinación de banda de la banda de conducción del lado de la capa n 42 de la capa n^+ 52 son pronunciadas. Por lo tanto, el hueco que se ha desplazado al nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p 41 se puede transferir a la capa p^+ 51 mediante conducción por efecto túnel; y el electrón que se ha desplazado al nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n 42 se puede transferir a la capa n^+ 52 mediante conducción por efecto túnel.

De este modo, en la célula solar 70, al hacer pronunciadas las inclinaciones de banda del extremo superior de la banda de valencia en la capa p 41 y la capa p^+ 51, es posible transferir fácilmente el hueco mediante conducción por efecto túnel; y al hacer pronunciadas las inclinaciones de banda del extremo inferior de la banda de conducción en la capa n 42 y la capa n^+ 52, es posible transferir fácilmente el electrón mediante conducción por efecto túnel. Además, en la célula solar 70, se forma el potencial triangular en la banda de valencia de la capa p 41 y el nivel cuántico fundamental del potencial triangular es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo 14 de la capa p^+ 51; por lo tanto se reduce la pérdida de energía del hueco provocada en el momento en el que hueco se desplaza al primer electrodo 14. Además, en la célula solar 70, se forma el potencial triangular en la banda de conducción de la capa n 42 y el nivel cuántico fundamental del potencial triangular es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo 15 de la capa n^+ 52; de este modo, se reduce la pérdida de energía del electrón provocada en el momento en que el electrón se desplaza al segundo electrodo 15. Al posibilitar extraer fácilmente el portador de la capa húmeda o del punto cuántico, y reducir la pérdida de energía, se mejora la eficiencia de la conversión fotoeléctrica. Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, es posible disponer una célula solar 70 que pueda mejorar la eficiencia de la conversión fotoeléctrica.

En la descripción anterior relacionada con la célula solar de la presente invención, en la que se forma el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, se ha mostrado la realización en la que el potencial triangular tiene el nivel cuántico en la banda de valencia de la capa p y la banda de conducción de la capa n . Sin embargo, la célula solar de la presente invención no se limita a esta realización. En la célula solar de la presente invención, el potencial triangular que tiene el nivel cuántico se puede formar solamente en la banda de valencia de la capa p mediante disponer la capa p^+ entre la capa p y el primer electrodo, pero no disponiendo la capa n^+ entre la capa n y el segundo electrodo. Además, el potencial triangular que tiene el nivel cuántico se puede formar solamente en la banda de conducción de la capa n , no disponiendo la capa p^+ entre la capa p y el primer electrodo sino disponiendo la capa n^+ entre la capa n y el segundo electrodo. Sin embargo, al formar el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, es posible reducir la pérdida de energía del portador, permitiendo de este modo una mejora de la eficiencia de la conversión fotoeléctrica. Por lo tanto, para proporcionar una célula solar que pueda mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica, es preferible la célula solar en la que el potencial triangular que tiene el nivel cuántico está formado en la banda de valencia de la capa p y en la banda de conducción de la capa n .

Además, en la descripción anterior relacionada con la célula solar de la presente invención, en la que se forma el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, se ha mostrado la realización en la que el nivel cuántico fundamental del potencial triangular formado en la banda de valencia de la capa p es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p^+ . Sin

embargo, la célula solar de la presente invención no se limita a esta realización. En la célula solar de la presente invención, entre los niveles cuánticos del potencial triangular formado en la banda de valencia de la capa p, el nivel cuántico que tiene una energía mayor que el nivel fundamental puede ser aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p⁺.

5 Además, ninguno de los niveles cuánticos en el potencial triangular formado en la banda de valencia de la capa p puede ser igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p⁺. Asimismo, en la descripción anterior relacionada con la célula solar de la presente invención, en la que se forma el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, se ha mostrado la realización en la que el nivel cuántico fundamental del potencial triangular formado en la banda de conducción de la capa n es

10 aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺. Sin embargo, la célula solar de la presente invención no se limita a esta realización. En la célula solar de la presente invención, entre los niveles cuánticos del potencial triangular formado en la banda de conducción de la capa n, el nivel cuántico que tiene una energía mayor que el nivel fundamental puede ser aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺. Además, ninguno de los niveles cuánticos del potencial triangular formado en la banda de conducción de la capa n puede ser igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n⁺.

Además, en la descripción anterior relacionada con la célula solar de la presente invención, en la que se forma el potencial triangular que tiene el nivel cuántico, se ha mostrado la realización en la que la célula solar comprende: la

20 capa p⁺ constituida por el material que tiene una banda prohibida más ancha que la del material que constituye la capa p; y la capa n⁺ constituida por el material que tiene una banda prohibida más ancha que la del material que constituye la capa n, a lo cual no se limita la célula solar de la presente invención. Sin embargo, en vista de la inhibición del desplazamiento del electrón como portador minoritario al primer electrodo, se proporciona preferentemente la capa p⁺ constituida por el material que tiene una banda prohibida más ancha que la del material

25 que constituye la capa p. Además, en vista de la inhibición del desplazamiento del hueco como portador minoritario al segundo electrodo, se dispone preferentemente la capa n⁺ constituida por el material que tiene una banda prohibida más ancha que la del material que constituye la capa n.

Además, en la descripción anterior relacionada con la célula solar de la presente invención, se ha mostrado la realización en la que se satisfacen las relaciones $Cn1 < Cn2$ y $Cp1 < Cp2$ al contener la impureza de tipo n en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, y al contener la impureza de tipo p en la parte extrema del lado de la capa n de la capa i. Sin embargo, la célula solar de la presente invención no se limita a esta realización. La célula solar de la presente invención puede tener una configuración en la que la relación $Cn1 < Cn2$ se satisface solamente

30 conteniendo la impureza de tipo n en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, y no conteniendo la impureza de tipo p en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i. O bien, la célula solar de la presente invención puede tener una configuración en la que la relación $Cp1 < Cp2$ se satisface solamente conteniendo la impureza de tipo p en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i, y no conteniendo la impureza de tipo n en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i. Sin embargo, con vistas a mejorar fácilmente la eficiencia de la conversión fotoeléctrica, las relaciones $Cn1 < Cn2$ y $Cp1 < Cp2$ se satisfacen preferentemente conteniendo la impureza de tipo n en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, y conteniendo la impureza de tipo p en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i. Además, en la célula solar de la presente invención, la impureza de tipo n puede estar contenida en toda la zona del lado de la capa p de la capa i incluyendo la parte extrema en el

35 lado de la capa p de la capa i; y la impureza de tipo p puede estar contenida en toda la zona del lado de la capa n de la capa i incluyendo la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i. En la presente invención, la medida en la que se suaviza la inclinación de la banda de la capa i se puede ajustar controlando la concentración y el grosor de la impureza de tipo n y de la impureza de tipo p a contener en la capa i. En la presente invención, la banda de la capa i está preferentemente inclinada suavemente, de tal modo que se reduce la diferencia de energía entre los niveles cuánticos de las estructuras cuánticas adyacentes.

Además, en la descripción anterior relacionada con las células solares 30, 70, la realización en la que el punto cuántico está formado en el lado de la capa p de la capa húmeda, a la que no se limita la célula solar de la presente invención. En la célula solar de la presente invención, se pueden sustituir la capa p y la capa n de las células solares

50 30, 70.

Además, en la célula solar de la presente invención, la banda prohibida del semiconductor que constituye la capa p y la banda prohibida del semiconductor que constituye la capa n no están limitadas particularmente. Sin embargo, con vistas a proporcionar una célula solar en la que el hueco se pueda extraer fácilmente de la parte de la estructura cuántica dispuesta en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i, la capa p está constituida preferentemente por el semiconductor que tiene una banda prohibida que está entre la banda prohibida del primer semiconductor y la del segundo semiconductor. Desde el mismo punto de vista, la capa n está constituida preferentemente por el semiconductor que tiene una banda prohibida que está entre la banda prohibida del primer semiconductor y la del segundo semiconductor.

55

Además, en la descripción anterior relacionada con la célula solar de la presente invención, se ha mostrado la realización en la que la parte de la estructura cuántica es el punto cuántico, a la cual no se limita la célula solar de la presente invención. La célula solar de la presente invención puede tener una realización en la que se utilice un pozo

60

5 cuántico o un hilo cuántico en la capa i. Cuando se utiliza el hilo cuántico como la parte de estructura cuántica de la presente invención, por ejemplo, se puede mostrar mediante la sección transversal similar a la de la figura 1 una célula solar en la que el hilo cuántico está dispuesto en la capa i de tal modo que la dirección axial del hilo cuántico se cruza con la dirección de la corriente/tensión eléctrica de la capa i. En la presente invención, cuando se utiliza el hilo cuántico como la parte de la estructura cuántica, el material y la estructura para constituir el hilo cuántico no están limitados particularmente; se puede utilizar un hilo cuántico conocido, tal como nanotubo de carbono. Adicionalmente, cuando se utiliza el pozo cuántico como la parte de la estructura cuántica, el pozo cuántico se puede disponer de la misma manera que la capa húmeda 31c de la célula solar 30 y de la célula solar 70.

10 Tal como se ha visto anteriormente, se ha descrito un caso en el que la presente invención se aplica a una célula solar; sin embargo, la aplicación del dispositivo de conversión fotoeléctrica de la presente invención no se limita a la célula solar. La presente invención se puede aplicar asimismo a otros dispositivos de conversión fotoeléctrica, tal como un dispositivo de fotodetección.

Aplicabilidad industrial

15 El dispositivo de conversión fotoeléctrica de la presente invención puede ser utilizado, por ejemplo, para una fuente de energía de vehículos eléctricos y un sistema fotovoltaico.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de conversión fotoeléctrica que comprende:
una capa p;
una capa n;
- 5 una capa i dispuesta entre la capa p y la capa n;
un primer electrodo conectado a la capa p; y
un segundo electrodo conectado a la capa n;
en el que la capa i comprende: una capa de pared constituida por un primer semiconductor; y
una parte de estructura cuántica constituida por un segundo semiconductor y dispuesta en la capa de pared;
- 10 una banda prohibida del primer semiconductor es más ancha que la del segundo semiconductor;
está contenida una impureza de tipo p en una zona en el lado de la capa n de la capa i, y/o está contenida una impureza de tipo n en una zona en el lado de la capa p de la capa i;
en el caso de contener la impureza de tipo p en la zona del lado de la capa n de la capa i, cuando la concentración de la impureza de tipo p que puede estar contenida en el centro de la capa i en una dirección del grosor de la misma se define como Cp1, y la concentración de la impureza de tipo p contenida en la zona del lado de la capa n de la capa i se define como Cp2, se satisface la relación $Cp1 < Cp2$; y
- 15 en el caso de contener la impureza de tipo n en la zona del lado de la capa p de la capa i, cuando la concentración de la impureza de tipo n que puede estar contenida en el centro de la capa i en una dirección del grosor de la misma se define como Cn1, y la concentración de la impureza de tipo n contenida en la zona del lado de la capa p de la capa i se define como Cn2, se satisface la relación $Cn1 < Cn2$.
- 20 2. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 1, en el que la impureza de tipo p está contenida en una parte extrema del lado de la capa n de la capa i.
3. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 2, en el que la Cp2 y la concentración de la impureza de tipo n en la capa n se controlan de manera que el electrón se puede transferir a la capa n desde la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i mediante conducción por efecto túnel.
- 25 4. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 3, en el que el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado del segundo electrodo de la capa n es igual o menor que el nivel fundamental de la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa n de la capa i.
- 30 5. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la impureza de tipo p está contenida en la zona del lado de la capa n de la capa i;
está dispuesta una capa n^+ entre la capa n y el segundo electrodo;
el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n de la capa n^+ es mayor que el nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de la capa n^+ de la capa n; y
- 35 se forma un potencial triangular que tiene el nivel cuántico, en la banda de conducción de la capa n mediante disponer la capa n^+ .
- 40 6. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 5, en el que el nivel cuántico formado en la banda de conducción de la capa n es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo inferior de la banda de conducción de la cara extrema en el lado de el segundo electrodo de la capa n^+ .
7. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la impureza de tipo n está contenida en una parte extrema en el lado de la capa p de la capa i.
- 45 8. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 7, en el que la Cn2 y la concentración de la impureza de tipo p en la capa p están controladas de tal modo que el hueco se puede transferir a la capa p desde la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i mediante conducción por efecto túnel.

9. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 8, en el que el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p es igual o mayor que el nivel fundamental en la parte de la estructura cuántica contenida en la parte extrema en el lado de la capa p de la capa i.
- 5 10. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la impureza de tipo n está contenida en la zona del lado de la capa p de la capa i;
- está dispuesta una capa p^+ entre la capa p y el primer electrodo;
- el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado de la capa p de la capa p^+ es menor que el nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el
- 10 lado de la capa p^+ de la capa p; y
- se forma un potencial triangular que tiene el nivel cuántico, en la banda de valencia de la capa p mediante disponer la capa p^+ .
- 15 11. El dispositivo de conversión fotoeléctrica según la reivindicación 10, en el que el nivel cuántico formado en la banda de valencia de la capa p es aproximadamente igual al nivel de energía en el extremo superior de la banda de valencia de la cara extrema en el lado del primer electrodo de la capa p^+ .

Fig. 1

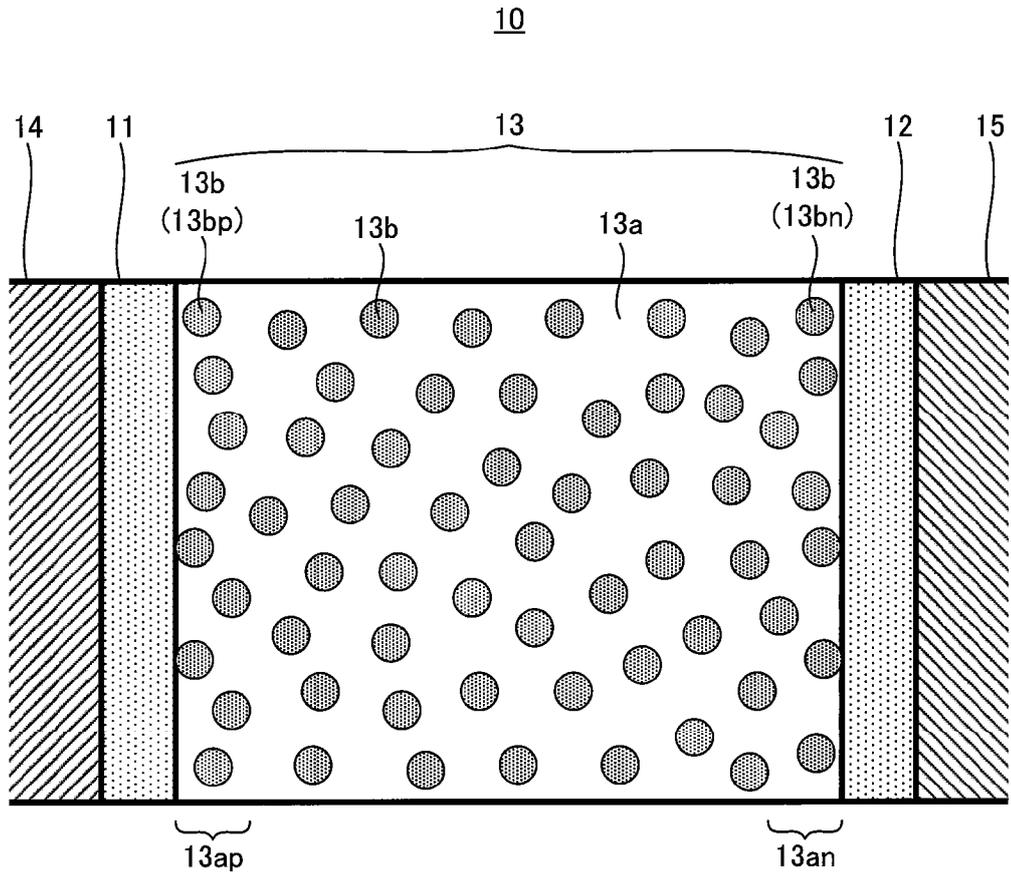


Fig. 2

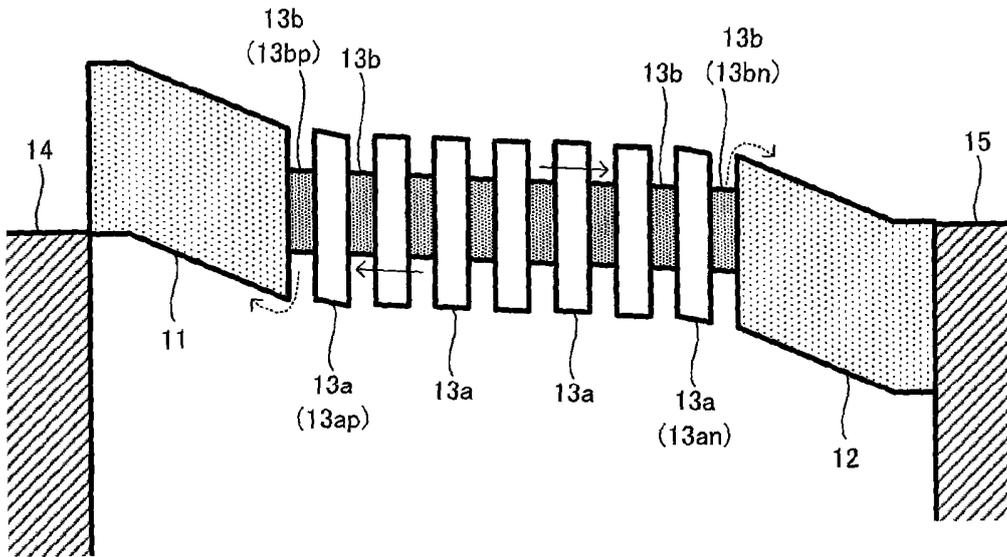


Fig. 3

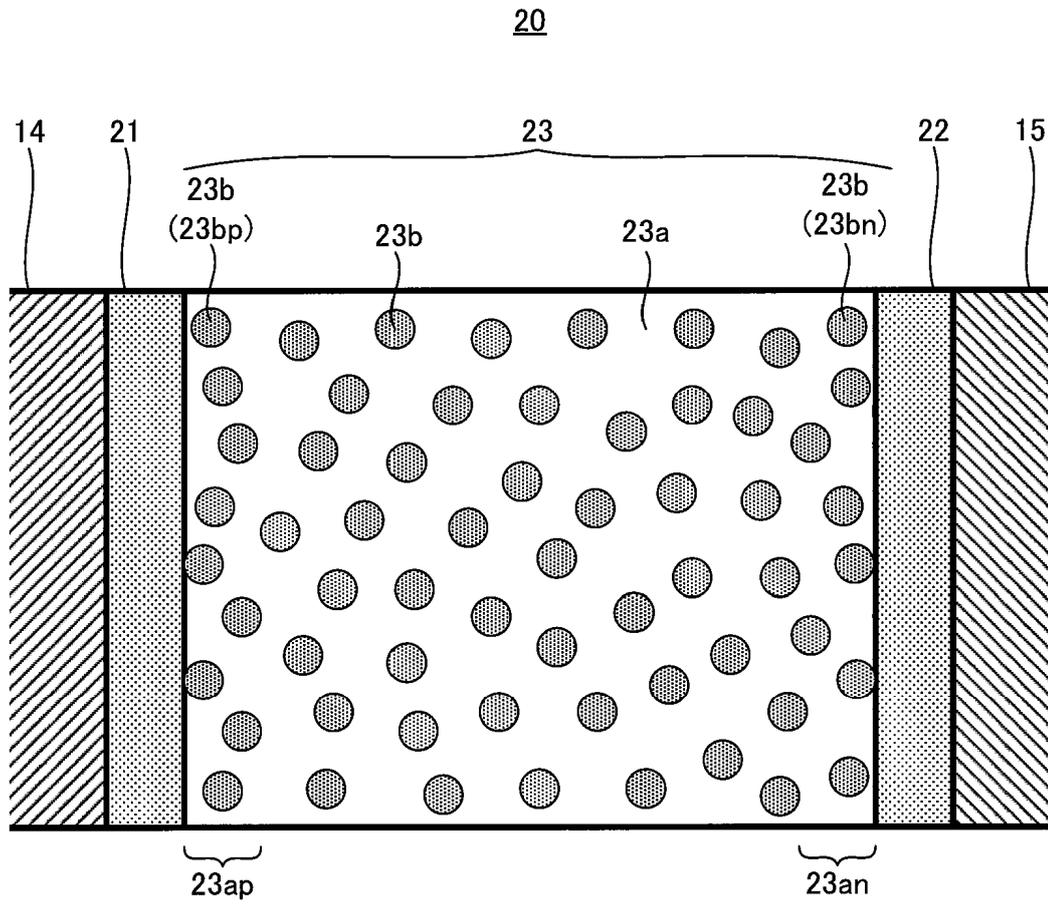


Fig. 4

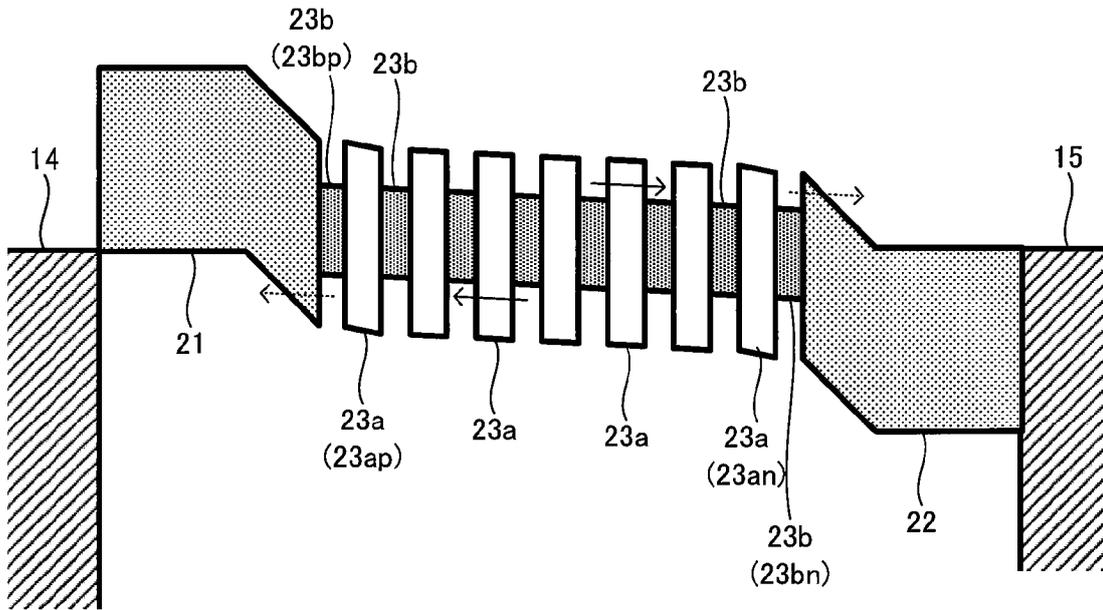


Fig. 5

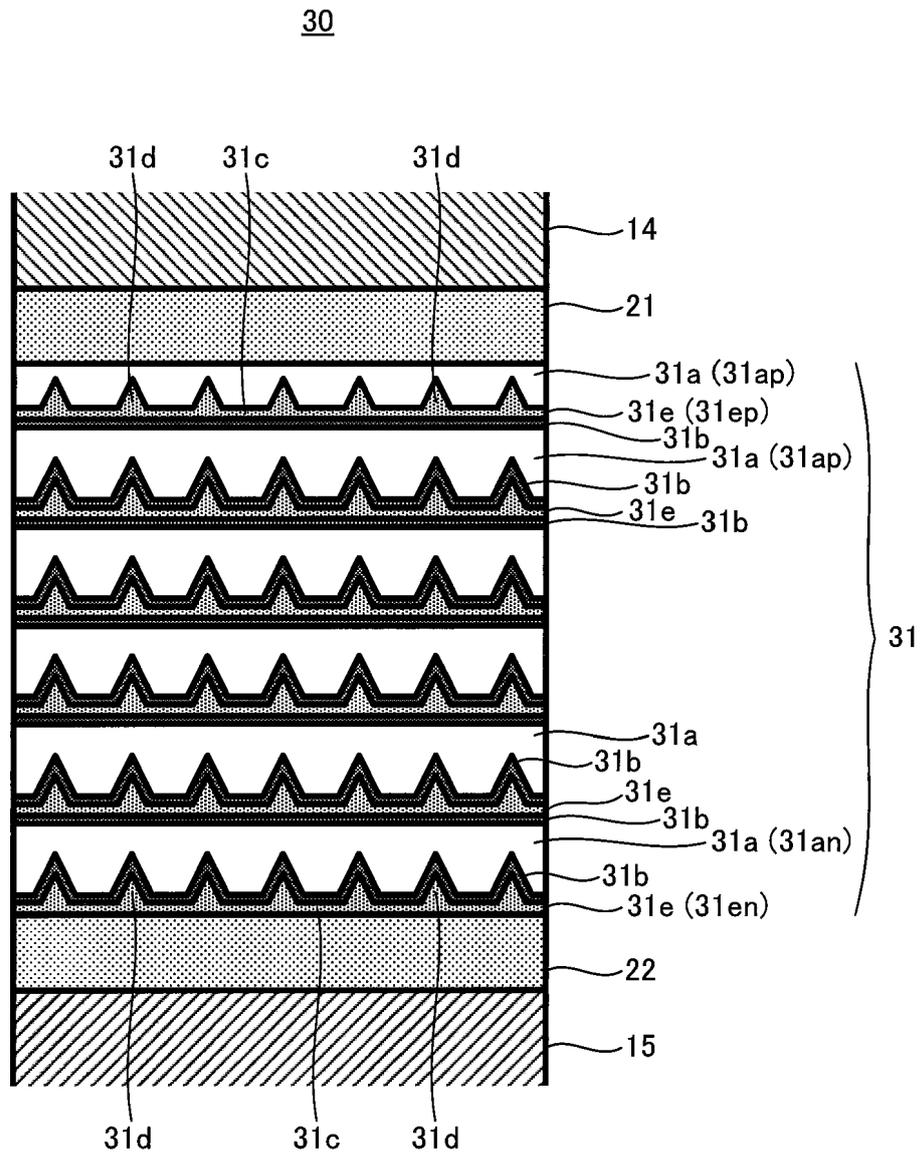


Fig. 6

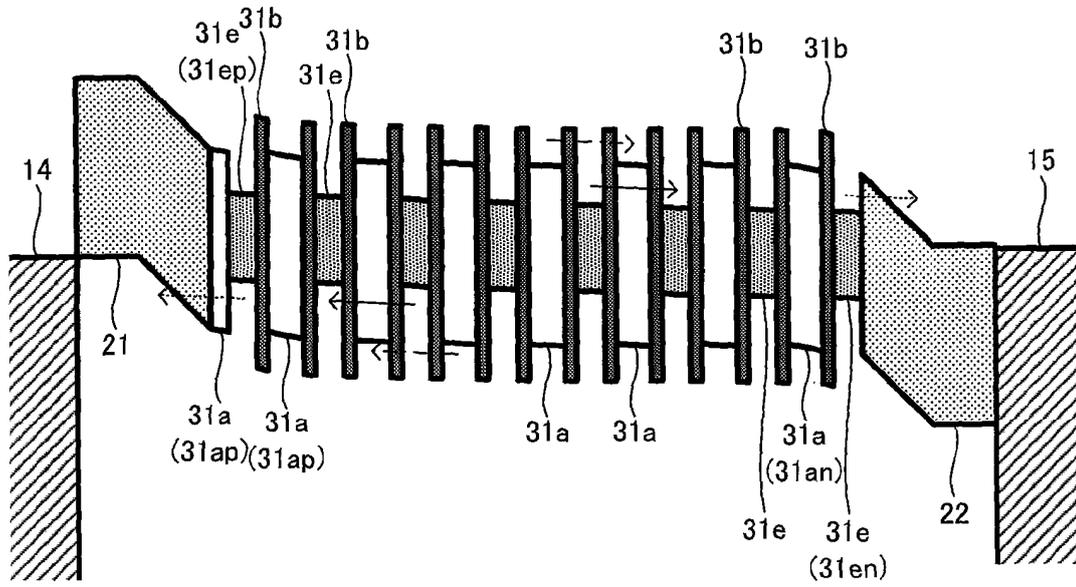


Fig. 7

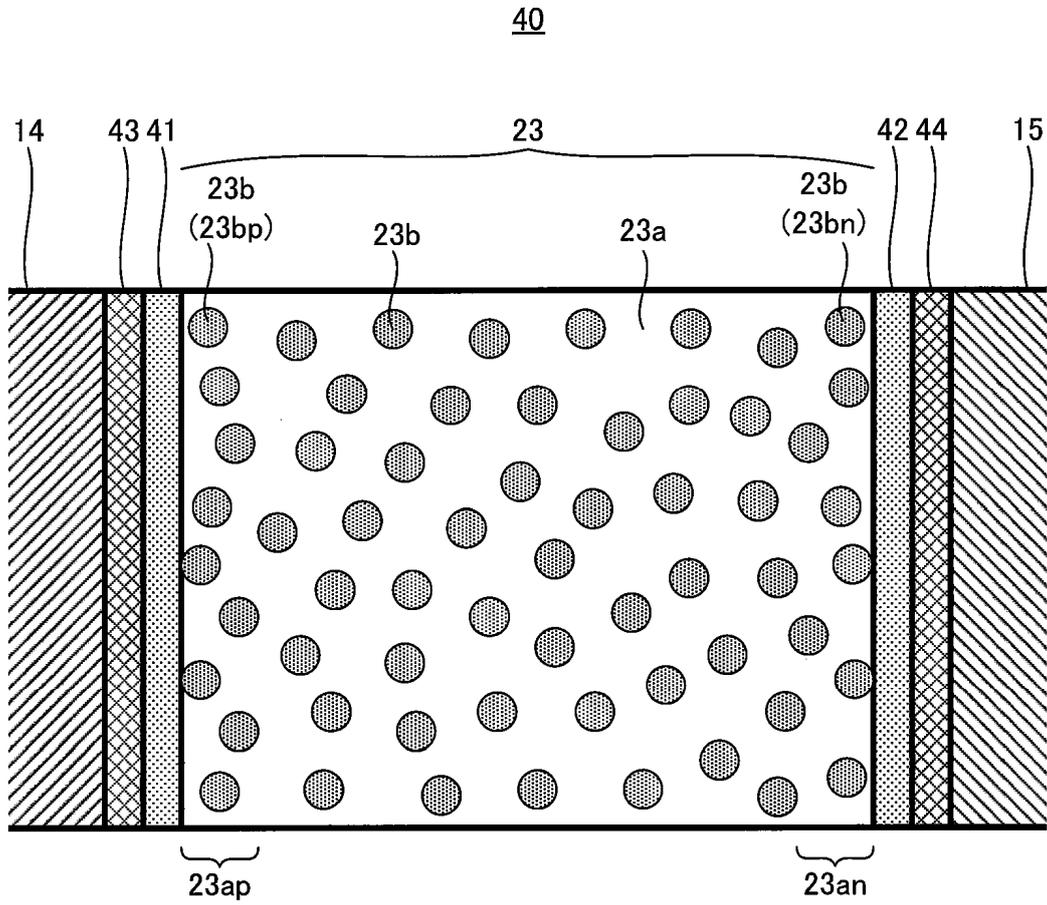


Fig. 8

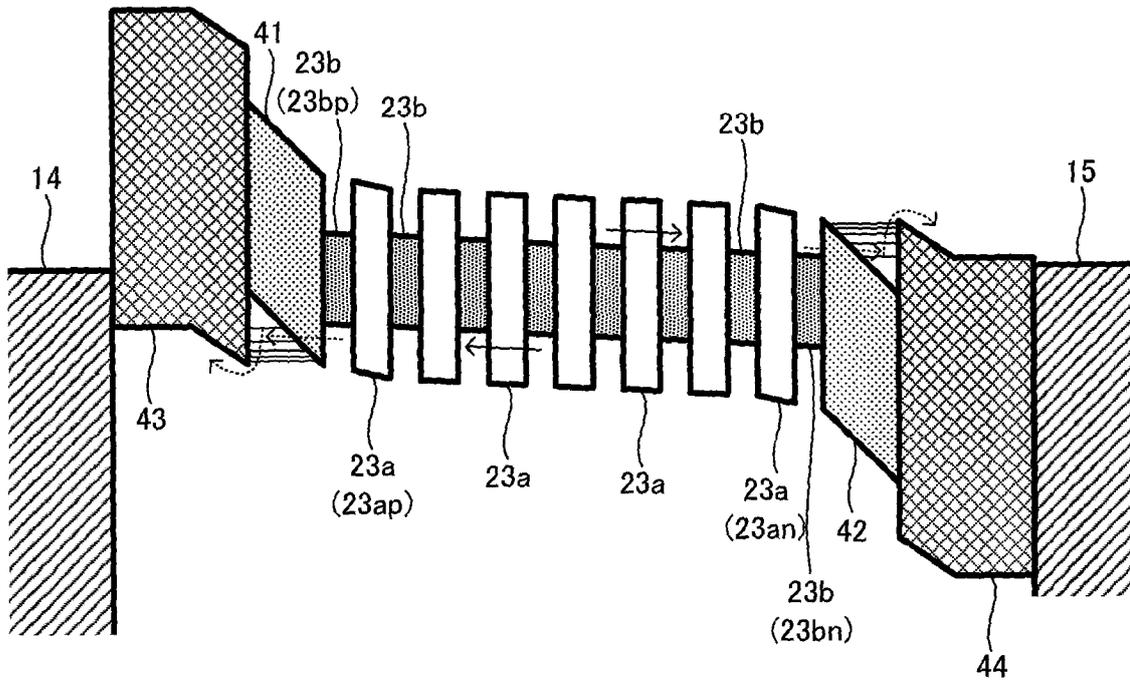


Fig. 9

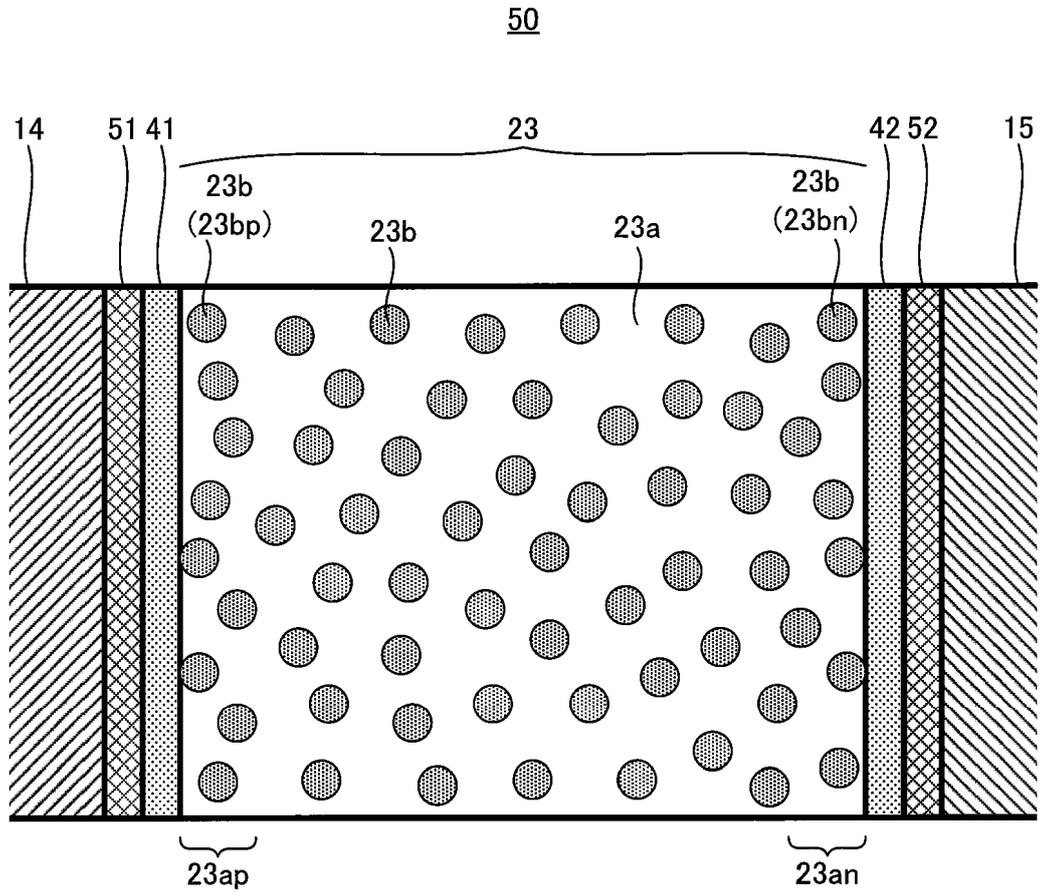


Fig. 10

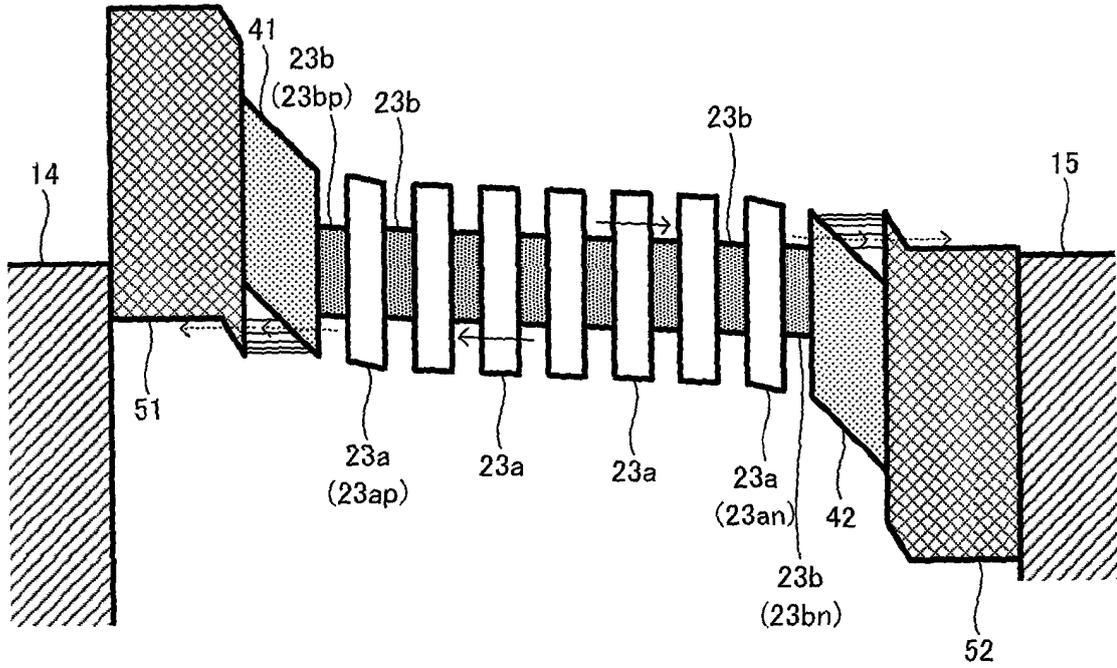


Fig. 11

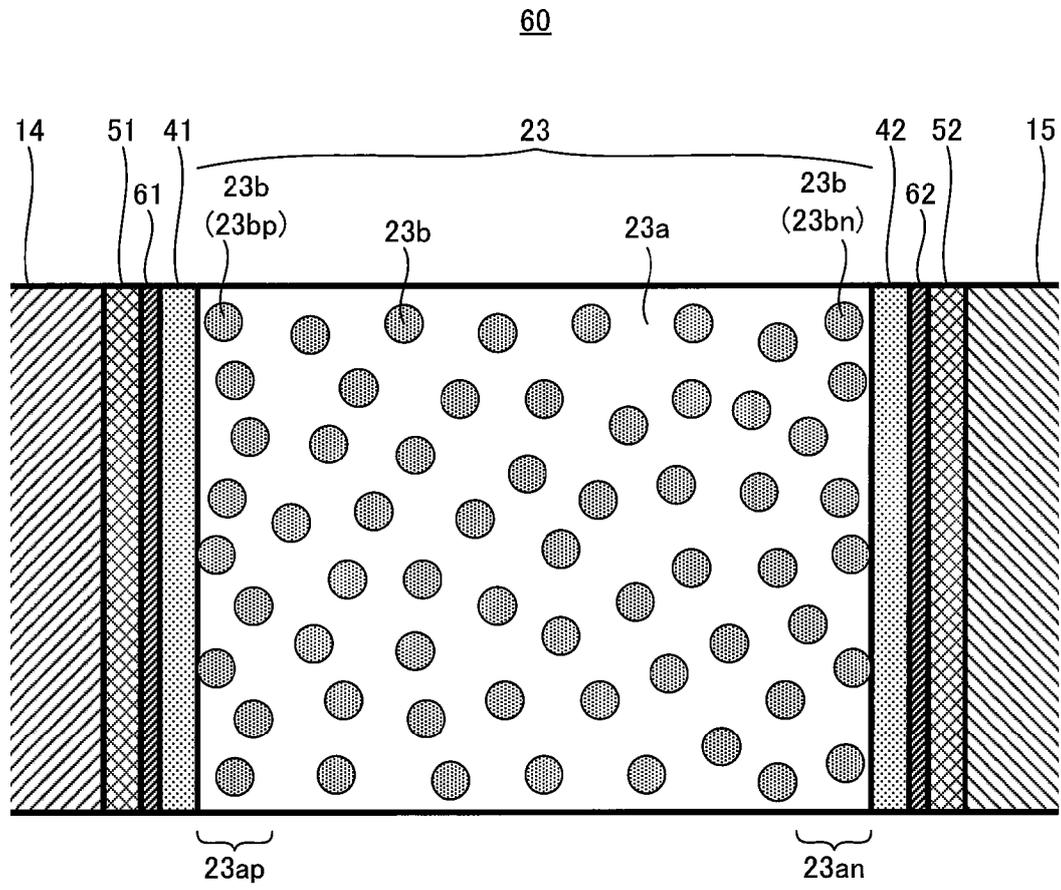


Fig. 13

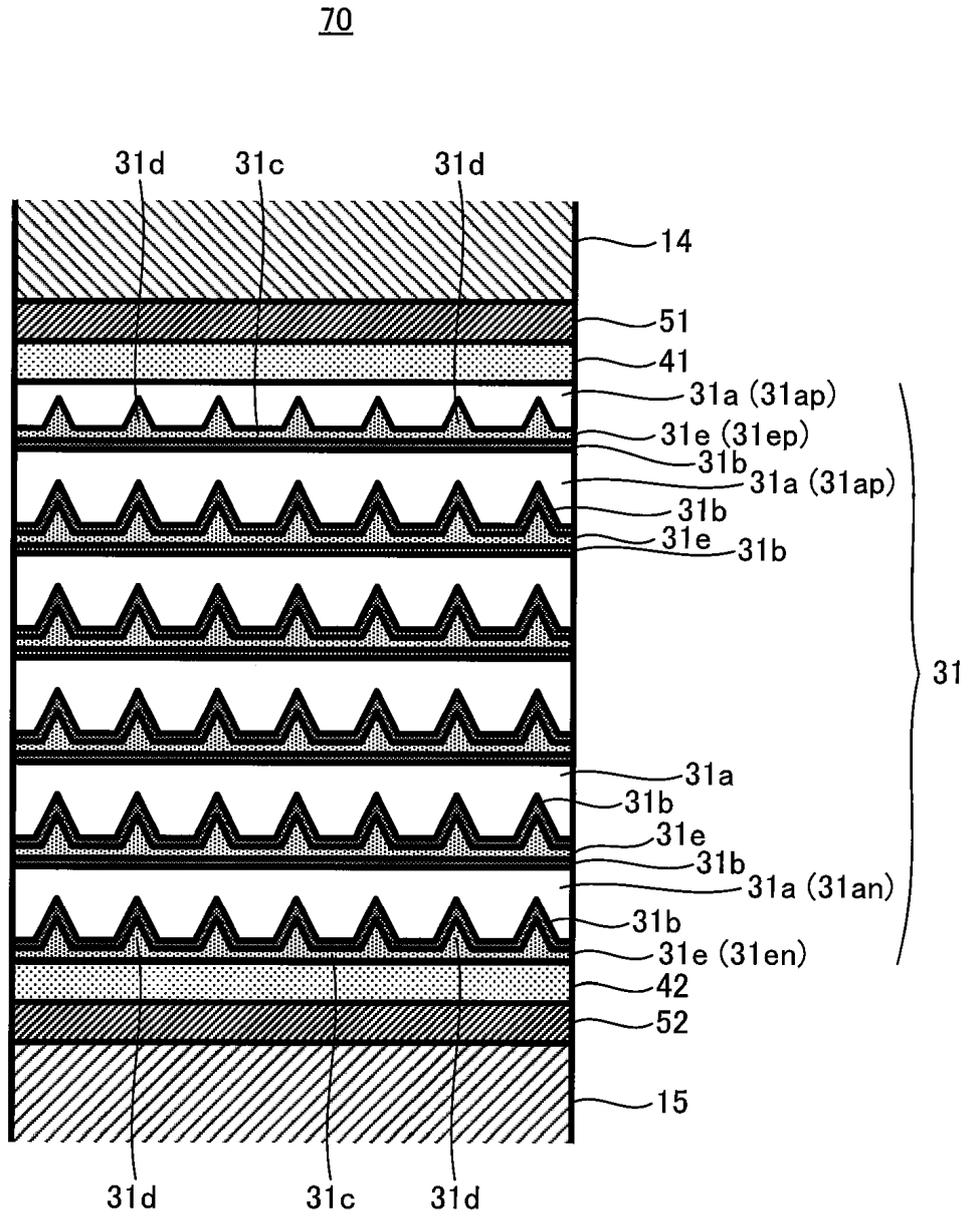


Fig. 14

