

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 857**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0687 (2012.01)

H01L 31/0304 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.06.2018** **E 18000531 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019** **EP 3419060**

54 Título: **Apilamiento de células solares**

30 Prioridad:

21.06.2017 DE 102017005950

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

26.02.2020

73 Titular/es:

**AZUR SPACE SOLAR POWER GMBH (100.0%)
Theresienstrasse 2
74072 Heilbronn, DE**

72 Inventor/es:

**EBEL, LARS y
GUTER, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 744 857 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

Apilamiento de células solares

La invención se refiere a un apilamiento de células solares.

5 Un apilamiento de células solares de este tipo se conoce por W. Guter *et al*, "Investigation and development of III-V-triple-junction concentrator solar cells", en 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 de septiembre de 2007, Milán, Italia, págs.122-125.

Por A. Bett *et al*, "Highest efficiency multi-junction solar cell for terrestrial and space applications", en 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21-25 de septiembre de 2009, Hamburgo, Alemania, sesión 1AP.1,1, páginas 1-6, se conoce una célula solar múltiple con un diodo túnel con compensación de tensión.

10 Por el documento EP 2 251 912 A1 se conoce una célula solar múltiple monolítica en forma de apilamiento con conducción de corriente mejorada entre las células solares. Para ello se dispone entre dos células solares consecutivas un diodo túnel con capas degeneradas tensadas entre sí. Una capa degenerada tensada por tracción está compensada con una capa degenerada tensada por compresión. Las capas degeneradas están realizadas o bien como capas p+ degeneradas dopadas con carbono o bien como capas n+ degeneradas dopadas con telurio o silicio. Al estar compensada la tensión, no actúa ninguna tensión sobre las capas que rodean el diodo túnel, dicho de otro modo la suma de la tensión es cero.

En otra forma de realización, para la compensación de tensiones se incluyen no solo las capas degeneradas del diodo túnel, sino también las capas que rodean directamente el diodo, preferiblemente capas de barrera. Mientras que la capa n+ degenerada está siempre sin tensión y presenta la constante de red de la capa de barrera directamente adyacente, en el presente caso la capa p+ degenerada está siempre tensada o bien por tracción o bien por compresión. De manera correspondiente, la capa de barrera adyacente a la capa p+ degenerada está tensada por compresión o por tracción. Al estar compensada a su vez la tensión, no actúa ninguna tensión sobre las capas que rodean a la capa de barrera, dicho de otro modo la suma de la tensión es cero.

20 El modo de proceder típico para materiales de diodo túnel de nuevos conceptos de célula solar con tampones metamórficos es una adaptación reticular de las capas de diodo túnel a la constante de red del sustrato o a la nueva constante de red del sustrato virtual en estructuras metamórficas. Al mismo tiempo, las capas de diodo túnel deben presentar un dopado suficientemente alto para la capacidad de carga de corriente y una transparencia suficientemente alta para las células parciales subyacentes.

25 En el caso de los diodos túnel con compensación de tensión en el concepto de célula solar metamórfica con contenidos en indio claramente mayores del 5 % se produce una diferencia de constante de red grande entre las capas p+ y n+ degeneradas que se compensan, por ejemplo, las capas de diodo túnel con compensación de tensión del documento EP 2 251 192 A1, de modo que la capa de diodo túnel tensada por tracción se relaja plásticamente y se desgarran. Los desplazamientos de hilo o incluso desgarros que se producen por ello pueden llegar hasta el interior de la transición p-n de células parciales adyacentes y actuar allí como centros para la recombinación no irradiante de los portadores de carga generados, de modo que se reduce claramente la eficiencia de la célula solar múltiple.

30 Como se conoce por W. Guter *et al*, "Investigation and development of III-V-triple-junction concentrator solar cells", en 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 de septiembre de 2007, Milán, Italia, págs. 122-125, aunque una capa p+ degenerada, compuesta por AlInGaAs, con un alto contenido en In en estructuras de célula solar múltiple metamórficas conduce a una adaptación de la constante de red mejorada para el sustrato virtual, este material es difícil de someter a dopado p en comparación con AlGaAs. En el caso de un dopado extrínseco por medio de tetrabromuro de carbono (CBr₄) se produce además reacciones previas en el reactor de MOVPE, por ejemplo, con TMI, lo que conduce a una incorporación de In inhibida y por consiguiente a una mala adaptación reticular.

35 Como consecuencia, la capa p+ degenerada se relaja plásticamente y genera desplazamientos de hilo o desgarros y provoca una reducción de la eficiencia de la célula solar múltiple metamórfica.

40 Un material de diodo túnel con dopado p alternativo lo representa (Al)GaAsSb. Este sistema de materiales puede adaptarse mediante la relación As/Sb a diferentes constantes de red y al mismo tiempo someterse a un dopado p elevado (por ejemplo, carbono intrínseco o dopado con CBr₄). Es decir, se usa (Al)GaAsSb para la producción de estructuras de diodo túnel con adaptación de red. Sin embargo, para este sistema de materiales en comparación con arseniuros y fosfuros a menudo es necesaria una configuración especial del reactor de MOVPE (epitaxia metalorgánica en fase de gas) y materiales de partida especiales.

45 Ante este trasfondo, el objetivo de la invención consiste en indicar un dispositivo, que perfeccione el estado de la técnica y en particular aumente la eficiencia de las células solares metamórficas mediante una mejor adaptación reticular de la capa p+ y al mismo tiempo reduzca lo menos posible la capacidad de carga de corriente del diodo túnel.

El objetivo se alcanza mediante un apilamiento de células solares con las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas de la invención son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

5 Según el objeto de la invención, se proporciona un apilamiento de células solares con un número predominante de capas semiconductoras III-V, presentando el apilamiento de células solares una primera célula parcial con una primera banda prohibida y con una primera constante de red, y una segunda célula parcial con una segunda banda prohibida y con una segunda constante de red.

Entre las dos células solares está dispuesta una sucesión de capas intermedias. La sucesión de capas intermedias presenta una primera capa de barrera y un primer diodo túnel y una segunda capa de barrera, estando dispuestas las capas en dicho orden.

10 El diodo túnel presenta una capa n+ degenerada con una tercera constante de red y una capa p+ degenerada con una cuarta constante de red, siendo la cuarta constante de red menor que la tercera constante de red y siendo la primera banda prohibida menor que la segunda banda prohibida y presentando la capa p+ una composición de material con indio distinta a la de la capa n+. La capa n+ está dispuesta entre la primera capa de barrera y la capa p+. La capa p+ está dispuesta entre la capa n+ y la segunda capa de barrera.

15 En una primera alternativa, la primera célula parcial y la segunda célula parcial presentan adaptación de red entre sí y la capa p+ presenta una constante de red menor con un error de adaptación de red de al menos el 0,5 %.

20 En una segunda alternativa, entre la primera célula parcial y la segunda célula parcial está configurado un tampón metamórfico, no presentando la capa p+ degenerada del diodo túnel adaptación de red ni con respecto a la primera célula parcial ni con respecto a la segunda célula parcial. Preferiblemente, la cuarta constante de red se encuentra entre la primera constante de red y la segunda constante de red.

La tercera constante de red de la capa n+ degenerada del diodo túnel presenta adaptación de red con respecto a la primera célula parcial o con respecto a la segunda célula parcial.

Para ambas alternativas es aplicable que la capa p+ degenerada presenta una combinación de materiales distinta a la de la capa n+ degenerada.

25 La capa p+ degenerada contiene al menos el 5 % de indio y como dopante carbono.

Las capas del diodo túnel y las capas adicionales de la sucesión de capas intermedias no presentan compensación de tensión entre sí.

Debe indicarse que por el término de la adaptación reticular se entiende una diferencia en las constantes de red de dos capas sucesivas menor del 0,1 %.

30 Por el término "sin compensación de tensión" se entiende que mediante el error de adaptación de red de la capa p+ degenerada se genera una tensión y la tensión no se compensa mediante la capa n+ degenerada o por medio de las capas de barrera.

Dicho de otro modo, la tercera constante de red o las constantes de red de las dos capas de barrera o bien son iguales a la primera constante de red o bien son iguales a la segunda constante de red.

35 Se entiende que con el término "capas semiconductoras mayoritariamente III-V" se designa una célula solar múltiple, cuyas capas están compuestas en más del 50 %, preferiblemente más del 80 %, por materiales III-V.

Una célula parcial de este tipo comprende en particular a menudo también una célula parcial de Ge, estando compuestas las células parciales adicionales del apilamiento de células solares por los materiales III-V o compuestos.

40 Se entiende además que el término célula parcial se usa como sinónimo del término célula solar parcial. Dicho de otro modo, el apilamiento de células solares está compuesto por varias células solares parciales, que están conectadas en serie entre sí por medio de diodos túnel.

45 Debe indicarse que con el término composición de material, por ejemplo, se designa una composición de material de InGaAs, un compuesto de los elementos expuestos, pudiendo estar comprendidos además de los elementos expuestos también elementos adicionales.

Si las capas están compuestas por una composición de material dada, se entiende que además de la composición de material expuesta también están comprendidos en particular dopantes, tal como, por ejemplo, cinc o carbono, sin que se mencionen explícitamente los dopantes.

50 Debe indicarse que por el término capa degenerada en el presente documento se entiende una capa de diodo túnel muy dopada. Es decir, el término degeneración se refiere a que el nivel de Fermi de la capa n+ se encuentra en la banda de conducción y el nivel de Fermi de la capa p+ se encuentra en la banda de valencia, es decir las capas

semiconductoras presentan una conductividad metálica.

Por lo demás debe indicarse que las capas que rodean directamente el diodo túnel, en particular las capas de barrera, no presentan tensión. Con respecto a la sucesión de capas intermedias, exclusivamente la capa p+ degenerada del diodo túnel presenta un error de adaptación de red con respecto a las capas de barrera o con respecto a al menos una de las constantes de red de las células parciales y presenta de este modo una tensión de tracción. Dicho de otro modo, las capas de barrera presentan las constantes de red de células parciales adyacentes.

Sorprendentemente se ha mostrado que es posible producir el material de la capa p+ degenerada de un diodo túnel con tensión para células solares múltiples metamórficas, en contra del estado de la técnica, de tal manera que por un lado se reduzca el error de adaptación de red de la capa p+ degenerada mediante la incorporación de indio y un dopado con carbono intrínseco simultáneo, y por otro lado no se reduzca de manera notable la transparencia y la conductividad eléctrica del diodo túnel.

Por consiguiente, en particular puede conseguirse un compromiso entre una adaptación reticular suficientemente alta y un dopado p suficientemente alto y una transparencia suficientemente alta de la capa p+. De este modo se evita la relajación plástica de la capa p+ con la generación de desplazamientos o desgarros y se aumenta la calidad de material de las células parciales adyacentes. Además se aumenta el grado de eficacia de la célula solar múltiple metamórfica.

Una ventaja adicional es que por medio de ambas alternativas pueden reducirse la tensión y de este modo la curvatura de las obleas. Al presentar la capa n+ adaptación de red con respecto a una de las células parciales o con respecto a ambas células parciales, es decir presentar la misma o prácticamente la misma constante de red que una célula parcial o que ambas células parciales, desde la capa p+ del diodo túnel y de este modo desde la sucesión de capas intermedias se obtiene siempre en suma una tensión de tracción. Es decir, la capa p+ del diodo túnel presenta tensión por tracción, presentando las capas circundantes adaptación de red con respecto a una de las células parciales o con respecto a ambas células parciales y por consiguiente no presentando tensión.

Es decir, en el presente caso la tensión no se compensa en la sucesión de capas intermedias, sino preferiblemente al menos parcialmente mediante otras capas del apilamiento de células solares. Una ventaja es que con la tensión de la capa p+ se compensan al menos parcialmente las tensiones de compresión incorporadas durante el proceso de epitaxia tanto antes de la producción como después de la producción de la sucesión de capas intermedias.

Una ventaja adicional en particular de la segunda alternativa es que precisamente en el caso de una incorporación de un tampón metamórfico entre la primera célula parcial y la segunda célula parcial y la tensión residual que resulta en su mayoría de la incorporación del tampón de la oblea por medio de la capa p+ degenerada del diodo túnel, cuya constante de red no presenta adaptación de red ni con respecto a la primera célula parcial ni con respecto a la segunda célula parcial, puede realizarse una compensación al menos parcial.

En una forma de realización, la capa p+ degenerada del diodo túnel presenta un error de adaptación de red con respecto a la capa n+ degenerada del diodo túnel de entre el 0,5 % y el 2,0 %.

En un perfeccionamiento, la capa p+ degenerada del diodo túnel está compuesta por una composición de material de AlInGaAs, siendo la concentración de carbono en el material mayor de $1E19 \text{ cm}^{-3}$. En otro perfeccionamiento, el contenido en indio de la capa de AlInGaAs p+-conductora degenerada del diodo túnel se encuentra entre el 5 % y el 20 %, encontrándose el contenido en aluminio de la capa p+-conductora degenerada entre el 10 % y el 80 %.

Preferiblemente, la constante de red de la capa p+-conductora degenerada del diodo túnel se encuentra entre 5,674 Å y 5,734 Å. Preferiblemente, la constante de red se ve influida también por el contenido en indio. En otra forma de realización, la capa p+ degenerada del diodo túnel no contiene nada de antimonio o hasta como máximo el 5 % de antimonio.

En una forma de realización, la capa n+-conductora degenerada del diodo túnel está compuesta por un compuesto de InGaP o AlInGaP o AlInP y está dopada con telurio, silicio, selenio o germanio, encontrándose la constante de red entre 5,714 Å y 5,785 Å. Preferiblemente, el contenido en indio de la capa n+-conductora degenerada del diodo túnel se encuentra entre el 63 % y el 80 %. El contenido en aluminio asciende como máximo al 37 %. En una forma de realización, para InAlP el contenido en indio se encuentra como máximo al 63 % y el contenido en aluminio como máximo al 37 %. En otra forma de realización, para InAlP el contenido en indio se encuentra a aproximadamente el 70 % y el contenido en aluminio como máximo a aproximadamente el 30 %.

Se entiende que los datos porcentuales de los contenidos en indio y aluminio indicados se refieren al contenido total de los átomos de grupo III.

Es decir, en el caso del compuesto $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ el contenido en indio asciende al valor X y el contenido en aluminio al valor Y y de este modo se obtiene, por ejemplo, para un contenido en indio del 15 % un valor de X de 0,15 y para un contenido en aluminio de como máximo el 85 % un valor de Y de como máximo 0,85.

En una forma de realización, el apilamiento de células solares presenta un sustrato de Ge o de GaAs.

Preferiblemente, el sustrato de Ge presenta en el lado superior, es decir en contra del sentido de la incidencia de la luz, una capa con dopado n. A este respecto, la célula parcial de Ge está configurada como célula parcial inferior.

5 En otro perfeccionamiento, el apilamiento de células solares comprende exactamente tres células parciales, estando configurado entre la segunda célula parcial y la tercera célula parcial un diodo túnel adicional. Se entiende que no se compensan las tensiones de los dos diodos túnel. Alternativamente, solo uno de los dos diodos túnel presenta tensión. Preferiblemente, el diodo túnel entre la segunda célula parcial y la tercera célula parcial no presenta tensión.

10 En una forma de realización, en la célula solar múltiple cuádruple metamórfica erguida en forma de apilamiento el diodo túnel con tensión está presente de una a dos veces. Se entiende que los diodos túnel con tensión están dispuestos en cada caso entre dos células parciales directamente sucesivas. Preferiblemente, tres de las cuatro células parciales están dispuestas por encima del tampón metamórfico. Preferiblemente, entre la célula parcial inferior y el tampón metamórfico está configurado un diodo túnel que no presenta tensión.

15 En un perfeccionamiento, el diodo túnel con tensión está presente de una a tres veces en la célula solar múltiple cuádruple metamórfica erguida en forma de apilamiento. Uno de los diodos túnel con tensión se encuentra entre el tampón metamórfico y la célula parcial que se encuentra por encima del tampón metamórfico. Tres de las cuatro células parciales están dispuestas por encima del tampón metamórfico, estando dispuesto en cada caso entre células parciales adyacentes un diodo túnel con tensión. Naturalmente diodos túnel con tensión individuales pueden sustituirse por diodos túnel que presentan adaptación de red o diodos túnel adicionales.

20 En otra forma de realización, el diodo túnel con tensión está presente de una a tres veces en la célula solar múltiple quíntuple metamórfica erguida en forma de apilamiento y se encuentra en cada caso entre dos células parciales, estando dispuestas cuatro de las cinco células parciales por encima del tampón metamórfico. Preferiblemente, entre la célula parcial inferior y el tampón metamórfico está configurado un diodo túnel que no presenta tensión. Naturalmente diodos túnel con tensión individuales pueden sustituirse por diodos túnel que presentan adaptación de red o diodos túnel adicionales.

25 En un perfeccionamiento, el diodo túnel con tensión está presente de una a cuatro veces en una célula solar múltiple quíntuple metamórfica erguida en forma de apilamiento, estando dispuestas cuatro de las cinco células parciales por encima del tampón metamórfico. El diodo túnel con tensión está configurado entre el tampón metamórfico y la célula parcial que sigue y en cada caso entre dos células parciales adyacentes por encima del tampón metamórfico. Naturalmente diodos túnel con tensión individuales pueden sustituirse por diodos túnel que presentan adaptación de red o diodos túnel adicionales.

30 En una forma de realización, las capas del tampón metamórfico en la segunda forma de realización están compuestas por composiciones de material de InGaAs y/o AlInGaAs y/o InGaP, presentando el tampón metamórfico una sucesión de al menos tres capas y aumentando la constante de red en la sucesión en la dirección hacia la segunda célula parcial de capa a capa y siendo las constantes de red de las capas del tampón mayores que la constante de red de la primera célula parcial y presentando una capa del tampón metamórfico una tercera constante de red y siendo la tercera constante de red mayor que la constante de red de la segunda célula parcial. Preferiblemente, el tampón metamórfico presenta una sucesión de al menos cinco capas o exactamente cinco capas. En un perfeccionamiento, en el tampón metamórfico una de las capas presenta una tensión por compresión.

40 En un perfeccionamiento, la capa p+ degenerada del diodo túnel no presenta compensación de tensión ni por una capa posterior con respecto al diodo túnel ni por una capa anterior con respecto al diodo túnel. Se entiende que con el término capas posteriores se designan capas, que durante el proceso de epitaxia no se separan hasta después de la capa p+. En una forma de realización, el apilamiento de células solares está construido de manera monolítica.

Además debe indicarse que el diodo túnel novedoso, que genera una tensión de tracción, puede utilizarse ventajosamente en células solares múltiples tanto que han crecido de manera erguida como que han crecido de manera invertida.

45 La invención se explicará a continuación más detalladamente haciendo referencia a los dibujos. A este respecto, las partes iguales se identifican con referencias idénticas. Las formas de realización representadas están muy esquematizadas, es decir las distancias y las extensiones laterales y las verticales no están a escala y tampoco presentan, siempre que no se indique lo contrario, relaciones geométricas deducibles entre sí. En estos muestran:

50 la figura 1 un apilamiento de células solares con dos células parciales y con un diodo túnel según la invención,

la figura 2 un diagrama con una relación cualitativa entre el contenido en indio y carbono así como la transparencia y la probabilidad de relajación para la capa p+ degenerada del diodo túnel,

la figura 3 un apilamiento de células solares con dos células parciales y con un diodo túnel según la invención y un tampón metamórfico,

55 la figura 4 un apilamiento de células solares con tres células parciales y con dos diodos túnel según la

invención,

la figura 5 un apilamiento de células solares con cuatro células parciales y con dos diodos túnel según la invención y un diodo túnel según el estado de la técnica,

5 la figura 6 un apilamiento de células solares con cuatro células parciales y con dos diodos túnel según la invención y un diodo túnel según el estado de la técnica y un tampón metamórfico.

la figura 7 un apilamiento de células solares con cinco células parciales y con tres diodos túnel según la invención y un diodo túnel según el estado de la técnica y un tampón metamórfico.

10 La figura 1 muestra un apilamiento de células solares ST con una primera célula parcial SC1 y una segunda célula parcial SC2 y con un diodo túnel según la invención TD1. El apilamiento de células solares ST presenta mayoritariamente capas semiconductoras III-V. A este respecto, la incidencia de luz L tiene lugar a través de la segunda célula solar SC2.

Por debajo del apilamiento de células solares ST representado, la magnitud de las constantes de red a está ilustrada con una flecha. Dicho de otro modo, la extensión lateral representada de las capas individuales, es decir la extensión en la dirección de la flecha se corresponde con la magnitud de la constante de red.

15 La primera célula parcial SC1 presenta una primera banda prohibida con una primera constante de red. La segunda célula parcial SC2 presenta una segunda banda prohibida con una segunda constante de red. Preferiblemente, la segunda célula parcial SC2 presenta una banda prohibida de igual magnitud o mayor que la primera célula parcial SC1.

20 Entre las dos células parciales SC1 y SC2 está dispuesta una sucesión de capas intermedias ZF. La sucesión de capas intermedias ZF presenta una primera capa de barrera B1 y el diodo túnel TD1 con una capa n+ degenerada con una tercera constante de red y una capa p+ degenerada con una cuarta constante de red y una segunda capa de barrera B2, estando dispuestas las capas en dicho orden.

25 La cuarta constante de red es menor que la tercera constante de red. Además, la primera banda prohibida es menor que la segunda banda prohibida. La capa p+ degenerada presenta una composición de material distinta a la de la capa n+ degenerada. Además, la capa p+ presenta una constante de red menor con un error de adaptación de red de al menos el 0,5 % con respecto a la capa n+.

Las capas del diodo túnel TD1 y las capas adicionales de la sucesión de capas intermedias ZF es decir las dos capas de barrera B1 y B2 no presentan compensación de tensión entre sí.

En el presente caso, la capa p+ degenerada contiene además de indio también carbono como dopante.

30 En la presente forma de realización, que se denomina primera alternativa, es aplicable que la primera célula parcial SC1 y la segunda célula parcial SC2 presentan adaptación de red entre sí, es decir las dos constantes de red son iguales. Además, la capa n+ degenerada presenta adaptación de red con respecto a las dos células parciales SC1 y SC2.

35 Como resultado, el apilamiento de células solares ST presenta una tensión por tracción provocada por medio de la capa p+ degenerada.

En la ilustración de la figura 2 se representa la relación cualitativa entre el contenido en indio y carbono y la probabilidad de relajación para la capa p+ degenerada del diodo túnel.

En el diagrama, las abscisas representan cualitativamente el contenido en indio, mientras que las ordenadas reflejan el contenido en carbono cualitativo C y la probabilidad de desgarro WC.

40 A este respecto, la línea continua representa el contenido en carbono activo C en función del contenido en indio. La probabilidad de desgarro WC en función del contenido en indio se representa mediante la línea discontinua.

La transparencia TV de la capa p+ en función del contenido en indio se ilustra cualitativamente mediante la línea de puntos y rayas.

45 Para el caso en el que se seleccione un contenido en indio de aproximadamente el 0 % en la capa p+ del diodo túnel, la capa p+ presenta un dopado con carbono elevado. Al mismo tiempo, este material se encuentra muy alejado de la adaptación reticular LM con respecto a al menos una de las células parciales adyacentes, de modo que la probabilidad de desgarro WC es igualmente muy elevada. Por el contrario, la transparencia TV de la capa p+ en el caso de un contenido en indio de aproximadamente el 0 % es alta.

50 En el caso opuesto, la capa p+ con un alto contenido en indio presenta adaptación de red LM con respecto a al menos una de las células parciales adyacentes. A este respecto, correspondientemente el dopado con carbono y la probabilidad de desgarro están minimizados, de modo que aunque el diodo túnel altera poco el cristal, ya no

presenta una capacidad de carga de corriente suficiente.

Al mismo tiempo, en el caso con adaptación de red, la transparencia TV de la capa p+ es reducida, de modo que la luz irradiada se absorbe de manera desfavorablemente potenciada en esta capa.

5 La capa p+ degenerada del diodo túnel según la invención se selecciona en cuanto al contenido en indio en el punto NF de tal manera que se incorpora tanto un dopado con carbono suficientemente alto en el material como existe una probabilidad de formación de desgarros reducida y al mismo tiempo se garantiza una transparencia suficientemente alta.

10 A este respecto, resulta decisivo que la dependencia de la probabilidad de formación de desgarros así como la dependencia del dopado con carbono y la dependencia de la transparencia dependen cualitativamente de manera diferente del contenido en In.

En la representación de la figura 3, según una segunda alternativa se representa un apilamiento de células solares ST con dos células parciales SC1 y SC2 y con un diodo túnel según la invención TD1 y con un tampón metamórfico MP. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la representación de la figura 1.

La primera célula parcial SC1 presenta una constante de red menor que la segunda célula parcial SC2.

15 Entre la primera célula parcial SC1 y la segunda célula parcial SC2 está configurado un tampón metamórfico MP. En el presente caso, el tampón metamórfico comprende una primera capa S1 dispuesta directamente por encima de la primera célula parcial SC1 y una segunda capa S2 y una tercera capa S3 y una cuarta capa S4 y una quinta capa S5, estando dispuestas las capas S1 - S5 en dicho orden.

20 La primera capa S1 presenta adaptación de red con la primera célula parcial SC1. La quinta capa S5 presenta adaptación de red con respecto a la segunda célula parcial SC2. La segunda capa S2 presenta una constante de red mayor que la primera capa S1. La tercera capa S3 presenta una constante de red mayor que la segunda capa S2. La cuarta capa S4 presenta una constante de red mayor que la tercera capa S3, mientras que la constante de red de la quinta capa S5 es menor que la constante de red de la cuarta capa S4.

Debe indicarse que también pueden configurarse tampones metamórficos MP con más o menos de cinco capas.

25 El diodo túnel TD1 está dispuesto entre el tampón metamórfico MP y la segunda célula parcial SC2.

La capa n+ degenerada del diodo túnel TD1 presenta adaptación de red con respecto a la segunda célula parcial SC2. La capa p+ degenerada del diodo túnel TD1 no presenta adaptación de red ni con respecto a la primera célula parcial SC1 ni con respecto a la segunda célula parcial SC2.

30 En la ilustración de la figura 4 se representa un apilamiento de células solares ST con tres células parciales SC1 - SC3 y con dos diodos túnel según la invención TD1. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la ilustración de la figura 1.

Las tres células parciales SC1- SC3 del apilamiento de células solares ST presentan adaptación de red entre sí.

Por encima de la segunda célula solar SC2 está dispuesta una sucesión adicional de capas intermedias con una primera capa de barrera adicional B1 y un diodo túnel adicional TD1 y una segunda capa de barrera adicional B2.

35 Por encima de la sucesión adicional de capas intermedias está dispuesta una tercera célula parcial SC3. La incidencia de luz L tiene lugar a través de la tercera célula parcial SC3.

Al estar incorporados dos diodos túnel con tensión TD1, se suma también la tensión por tracción provocada por medio de las dos capas p+.

40 En la ilustración de la figura 5 se representa un apilamiento de células solares ST con cuatro células parciales SC1 - SC4 y con dos diodos túnel según la invención TD1 y un diodo túnel sin tensión TDLM. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la representación de la figura 4.

Por encima de la sucesión adicional de capas intermedias está dispuesta una cuarta célula parcial SC4. La incidencia de luz L tiene lugar mediante la cuarta célula parcial SC4. Las cuatro células parciales SC1 - SC4 del apilamiento de células solares ST presentan adaptación de red entre sí.

45 Entre la segunda célula parcial SC2 y la tercera célula parcial SC3 está dispuesto un diodo túnel sin tensión TDLM. Ambas capas degeneradas del diodo túnel TDLM presentan adaptación de red con respecto a las células parciales SC1 - SC4.

Al estar incorporados como en la forma de realización, representada en la figura 4, dos diodos túnel con tensión TD1, se suma también la tensión por tracción provocada por medio de las dos capas p+.

50 Para ilustrar la adaptación reticular se representa a la derecha junto a la representación del apilamiento de células

solares ST también la evolución de la altura de las constantes de red. Se muestra que en el caso de los dos diodos túnel con tensión TD1 se obtiene en cada caso una tensión de tracción, de modo que el apilamiento de células solares presenta en total al menos en una primera aproximación la suma de la tensión por tracción de los dos diodos túnel con tensión TD1.

- 5 En la ilustración de la figura 6 se representa un apilamiento de células solares ST con cuatro células parciales SC1 - SC4 y con dos diodos túnel según la invención TD1 y un tampón metamórfico MP y un diodo túnel sin tensión TDLM. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la representación de la figura 3 y de la figura 5.

Por encima del tampón metamórfico MP, las tres células parciales SC2 - SC4 del apilamiento de células solares ST presentan adaptación de red entre sí.

- 10 El diodo túnel TDLM según el estado de la técnica está dispuesto entre la primera célula parcial SC1 y el tampón metamórfico MP1.

Entre la segunda célula parcial SC2 y la tercera célula parcial SC3 está dispuesto un primer diodo túnel con tensión TD1 y entre la tercera célula parcial SC3 y la cuarta célula parcial SC4 está dispuesto un segundo diodo túnel con tensión adicional TD1.

- 15 En la representación de la evolución de la constante de red a a la derecha junto al apilamiento se muestra claramente que por medio de las dos capas de diodo túnel con tensión por tracción de TD1 puede compensarse al menos parcialmente o de manera completa la tensión por compresión, provocada por la gran constante de red de la cuarta capa S4 del tampón metamórfico MP, de manera sencilla sin capas adicionales.

- 20 En la ilustración de la figura 7 se representa un apilamiento de células solares ST con cinco células parciales SC1 - SC5 y con tres diodos túnel según la invención TD1 y un tampón metamórfico MP y un diodo túnel sin tensión TDLM. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la representación de la figura 6.

Por encima de las cuartas células parciales SC4 está configurada una quinta célula parcial con adaptación de red adicional SC5. Dicho de otro modo, la segunda célula parcial SC2 hasta la quinta célula parcial SC5 incluida del apilamiento de células solares ST presentan adaptación de red entre sí.

- 25 Entre la cuarta célula parcial SC4 y la quinta célula parcial SC5 está dispuesto un tercer diodo túnel con tensión adicional TD1.

En la representación de la evolución de la constante de red a a la derecha junto al apilamiento se muestra que por medio de las tres capas de diodo de túnel con tensión por tracción de TD1 puede compensarse al menos parcialmente o de manera completa la tensión de compresión, provocada por la gran constante de red de la cuarta capa S4 del tampón metamórfico MP, sin capas adicionales.

- 30

En el lado inferior del apilamiento de células solares ST está configurada una primera capa de conexión por contacto de metal por toda la superficie M1. En el lado superior del apilamiento de células solares ST, es decir el lado en el que incide la luz L en primer lugar sobre el apilamiento de células solares ST, está aplicada una capa antirreflectante AR por medio de un proceso de enmascaramiento.

- 35 La capa antirreflectante está interrumpida para la configuración de una estructura de pista conductora de tipo dedo. La estructura de pista conductora comprende una capa de terminación eléctricamente conductora CP dispuesta en el lado superior de la quinta célula parcial SC5 y una segunda capa de conexión por contacto de metal M2 configurada por encima de la capa de conexión.

- 40 Se entiende que resulta ventajoso disponer en las formas de realización mencionadas anteriormente un espejo de Bragg por debajo de una célula parcial para aumentar la estabilidad de radiación. Por medio de la incorporación de un espejo de Bragg pueden reducirse los grosores de capa de la respectiva célula parcial en al menos el 30 % con respecto a una célula parcial sin un espejo de Bragg.

REIVINDICACIONES

1. Apilamiento de células solares (ST) que presenta mayoritariamente capas semiconductoras III-V, con una primera célula parcial (SC1) con una primera banda prohibida y con una primera constante de red, y una segunda célula parcial (SC2) con una segunda banda prohibida y con una segunda constante de red, y
 - 5 una sucesión de capas intermedias dispuesta entre las dos células parciales (SC1, SC2), presentando la sucesión de capas intermedias una primera capa de barrera (B1) y un diodo túnel (TD1) y una segunda capa de barrera (B2), y presentando el diodo túnel (TD1) una capa n+ degenerada con una tercera constante de red y una capa p+ degenerada con una cuarta constante de red, y estando dispuestas las capas en dicho orden,
 - 10 siendo la cuarta constante de red menor que la tercera constante de red, y siendo la primera banda prohibida menor que la segunda banda prohibida, y presentando la capa p+ una composición de material distinta a la de la capa n+, y
 - 15 en una primera alternativa presentando la primera célula parcial (SC1) y la segunda célula parcial (SC2) adaptación de red entre sí, y
 - 20 presentando la capa p+ degenerada un error de adaptación de red de al menos el 0,5 % y presentando la constante de red de la capa p+ una constante de red menor que la primera constante de red y la segunda constante de red, y presentando la tercera constante de red de la capa n+ degenerada adaptación de red con respecto a la primera constante de red o con respecto a la segunda constante de red,
 - 25 estando configurado en una segunda alternativa entre la primera célula parcial (SC1) y la segunda célula parcial (SC2) un tampón metamórfico (MP), no presentando la capa p+ del diodo túnel (TD1) adaptación de red ni con respecto a la primera célula parcial (SC1) ni con respecto a la segunda célula parcial (SC2) y encontrándose la cuarta constante de red entre la primera constante de red y la segunda constante de red, y
 - 30 presentando la capa n+ degenerada adaptación de red con respecto a la primera célula parcial (SC1) o con respecto a la segunda célula parcial (SC2),
 - 35 conteniendo la capa p+ al menos el 5 % de indio y conteniendo como dopante carbono, y
 - 40 no presentando las capas del diodo túnel (TD1) y las capas adicionales (B1, B2) de la sucesión de capas intermedias compensación de tensión entre sí.
 2. Apilamiento de células solares (ST) según la reivindicación 1, caracterizado porque la capa p+ degenerada del diodo túnel (TD1) presenta un error de adaptación de red con respecto a la capa n+ degenerada del diodo túnel (TD1) de entre el 0,5 % y el 2,0 %.
 3. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la capa p+ degenerada del diodo túnel (TD1) comprende una composición de material de AlInGaAs o está compuesta por una composición de material de AlInGaAs, siendo la concentración de carbono en el
 - 35 material mayor de $1E19 \text{ cm}^{-3}$.
 4. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el contenido en indio de la capa p+ degenerada del diodo túnel (TD1), compuesta por AlInGaAs, se encuentra entre el 5 % y el 20 % y el contenido en aluminio de la capa p+ degenerada del diodo túnel (TD1) se encuentra entre el 10 % y el 80 %.
 - 40 5. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la constante de red de la capa p+ degenerada del diodo túnel (TD1) se encuentra entre 5,674 Å y 5,734 Å.
 6. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la capa p+ degenerada del diodo túnel (TD1) no contiene nada de antimonio o hasta como máximo el 5 % de antimonio.
 - 45 7. Apilamiento de células solares (ST) según la reivindicación 1 y 2, caracterizado porque la capa n+ degenerada del diodo túnel (TD1) está compuesta por el compuesto de InGaP, AlInGaP o AlInP y está dopada con telurio, silicio, selenio o germanio y la constante de red se encuentra entre 5,714 Å y 5,785 Å.
 8. Apilamiento de células solares (ST) según la reivindicación 7, caracterizado porque el contenido en indio de la capa n+ degenerada del diodo túnel (TD1) se encuentra entre el 63 % y el 80 % y el contenido en aluminio asciende hasta el 37 %.
 - 50

9. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el apilamiento de células solares (ST) presenta un sustrato de Ge o GaAs.
10. Apilamiento de células solares (ST) según la reivindicación 9, caracterizado porque el sustrato de Ge presenta una capa n+ y configura una célula parcial de Ge como célula parcial inferior (SC1).
- 5 11. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la célula solar múltiple cuádruple metamórfica erguida en forma de apilamiento el diodo túnel (TD1) está presente de una a dos veces y se encuentra en cada caso entre dos células parciales, estando dispuestas tres de las cuatro células parciales por encima del tampón metamórfico.
- 10 12. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el diodo túnel (TD1) está presente de una a tres veces en la célula solar múltiple cuádruple metamórfica erguida monolítica en forma de apilamiento y de estas se encuentra una vez entre el tampón metamórfico (MP) y la célula parcial que se encuentra por encima y de una a dos veces entre dos células parciales adyacentes, estando dispuestas tres de las cuatro células parciales por encima del tampón metamórfico (MP).
- 15 13. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el diodo túnel (TD1) está presente de una a tres veces en la célula solar múltiple quíntuple metamórfica erguida en forma de apilamiento y se encuentra en cada caso entre dos células parciales, estando dispuestas cuatro de las cinco células parciales por encima del tampón metamórfico (MP).
- 20 14. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el diodo túnel (TD1) está presente de una a cuatro veces en la célula solar múltiple quíntuple metamórfica erguida en forma de apilamiento y de estas se encuentra una vez entre el tampón metamórfico (MP) y la célula parcial que se encuentra por encima y de una a tres veces entre dos células parciales adyacentes, estando dispuestas cuatro de las cinco células parciales por encima del tampón metamórfico (MP).
- 25 15. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las capas del tampón metamórfico en la segunda forma de realización están compuestas por composiciones de material de InGaAs y/o AlInGaAs y/o InGaP y el tampón metamórfico presenta una sucesión de al menos tres capas y la constante de red aumenta en la sucesión en la dirección hacia la segunda célula parcial de capa a capa y siendo las constantes de red de las capas del tampón mayores que la constante de red de la primera célula parcial (SC1) y presentando una capa del tampón metamórfico (MP) una tercera constante de red y siendo la tercera constante de red mayor que la constante de red de la segunda célula parcial (SC2).
- 30 16. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la capa p+ del diodo túnel (TD1) no presenta compensación de tensión mediante una capa siguiente en el apilamiento de células solares (ST).
- 35 17. Apilamiento de células solares (ST) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el apilamiento de células solares (ST) está configurado de manera monolítica.

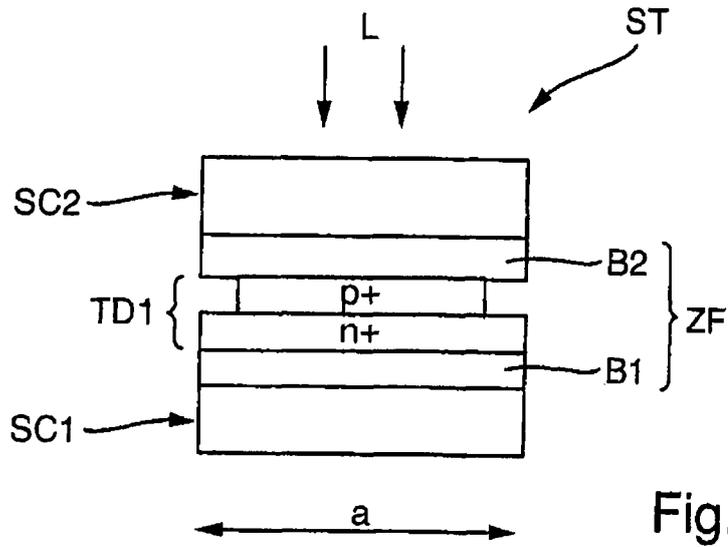


Fig. 1

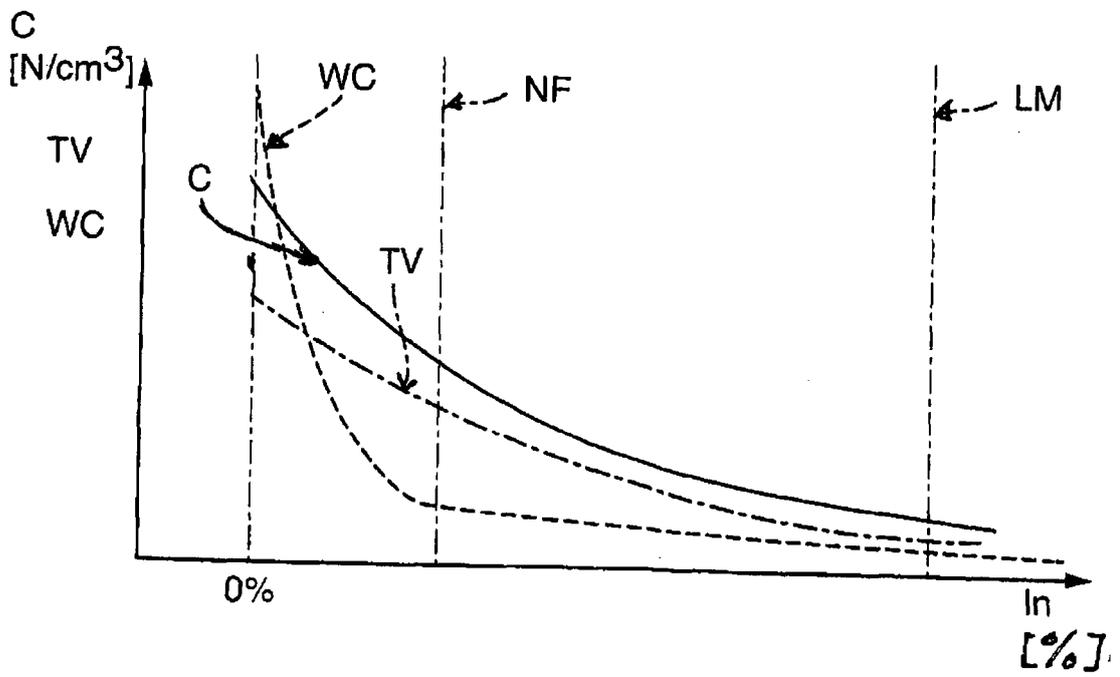
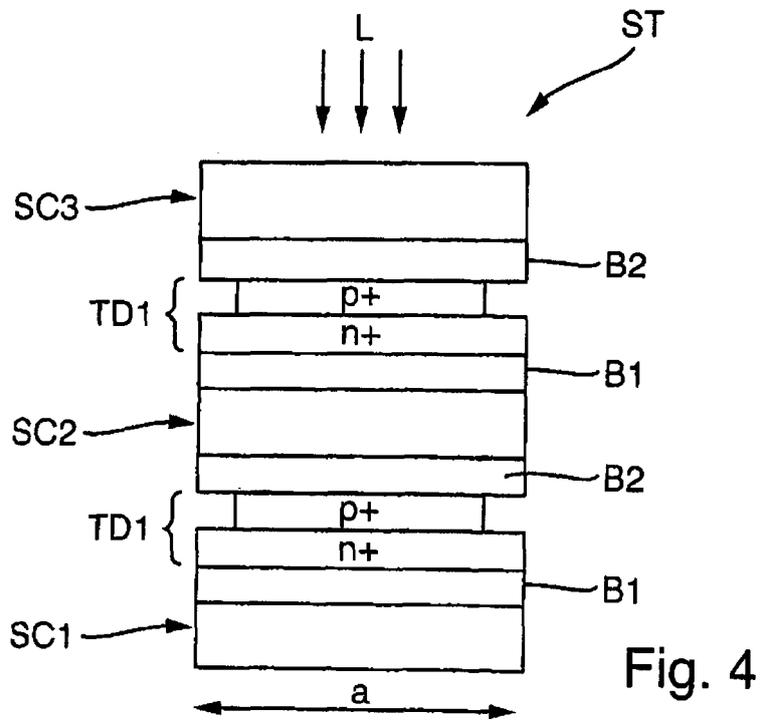
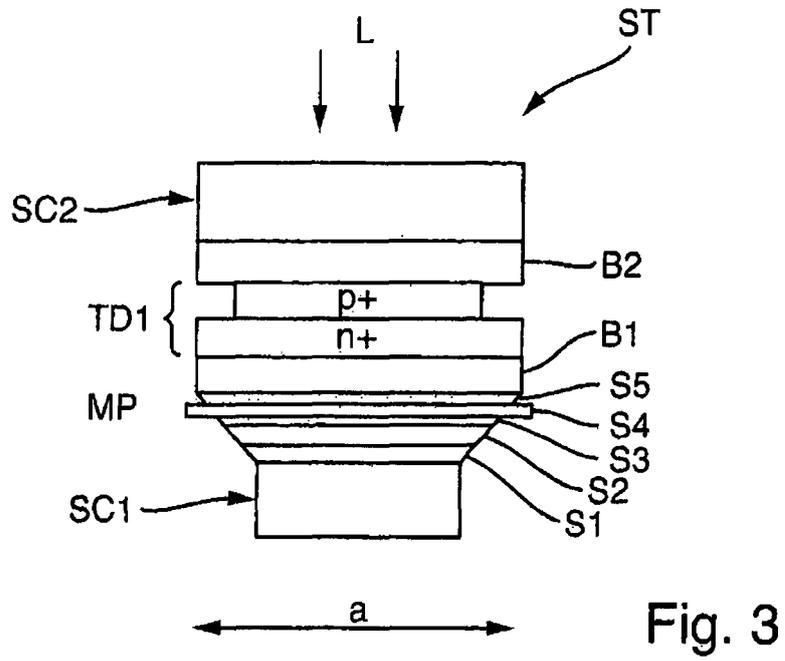


Fig. 2



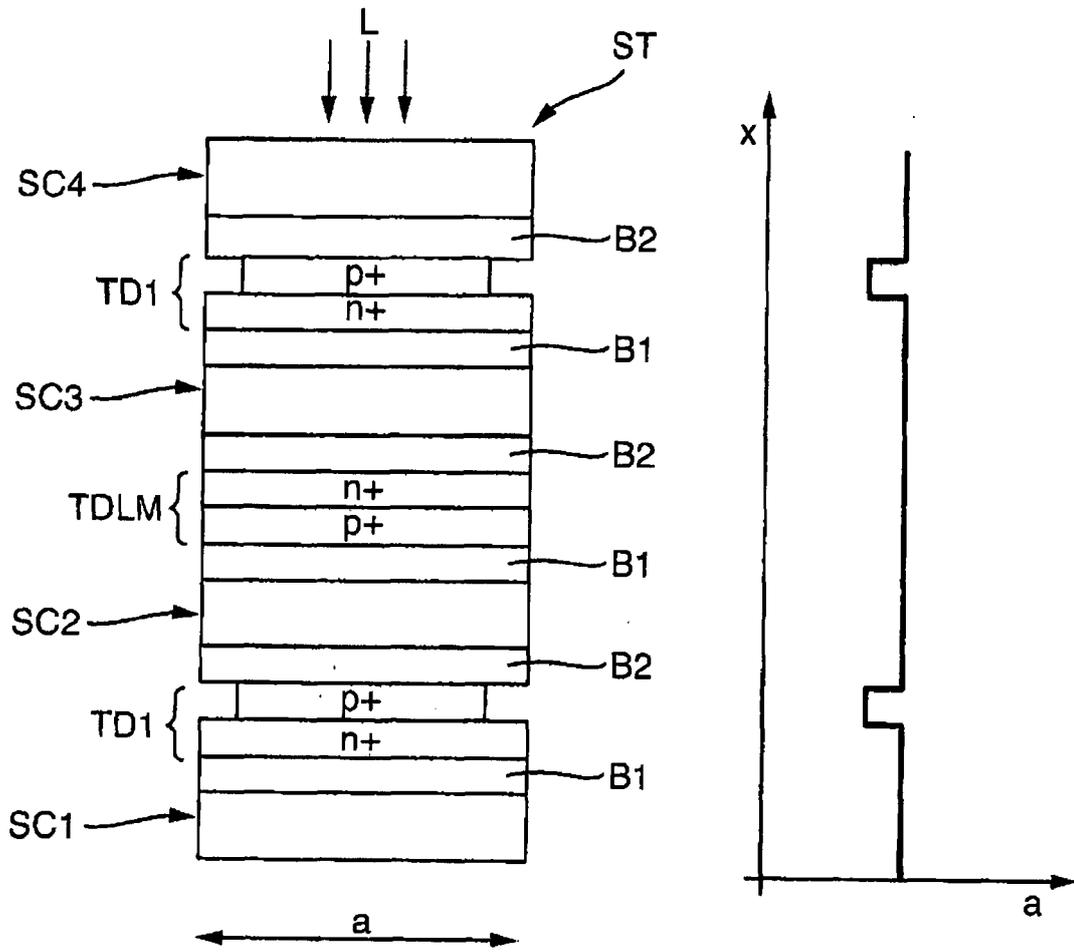


Fig. 5

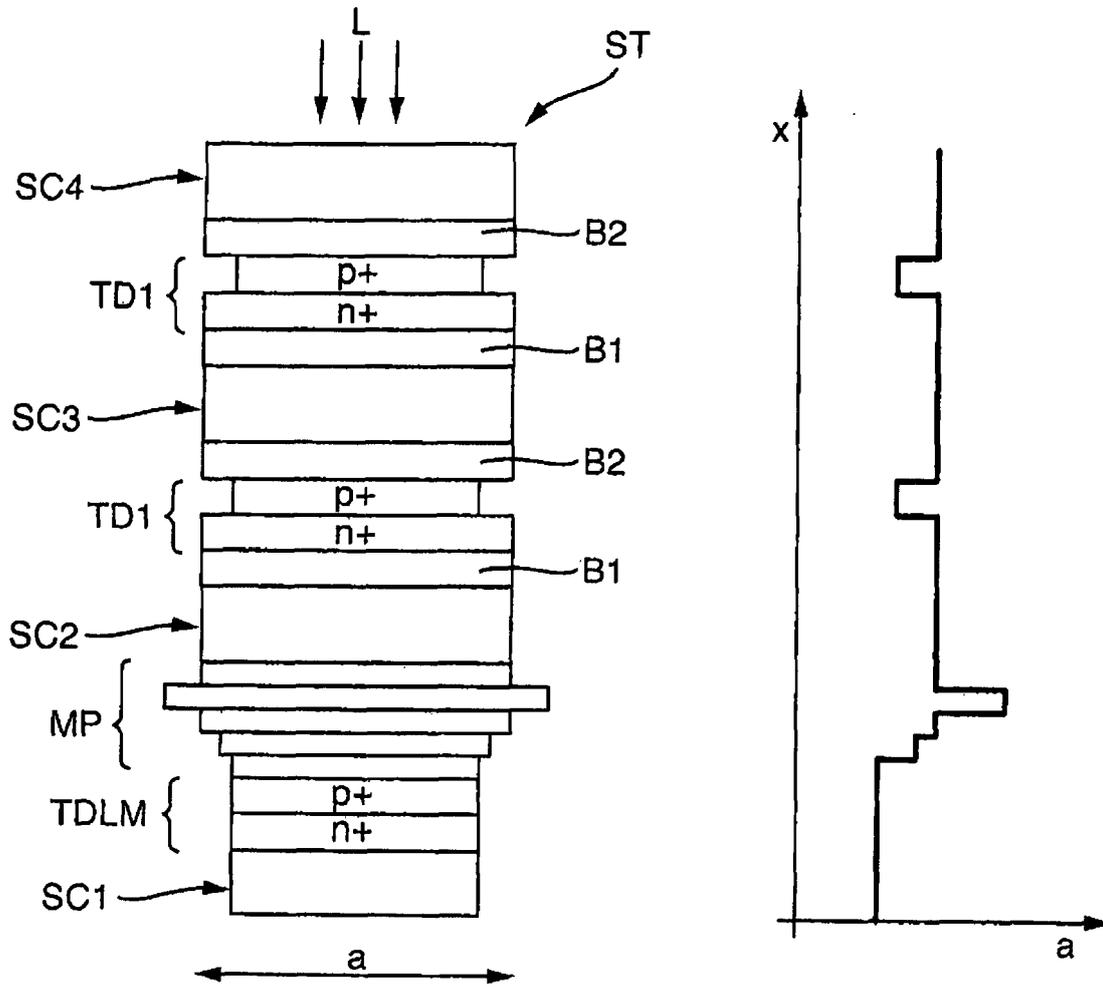


Fig. 6

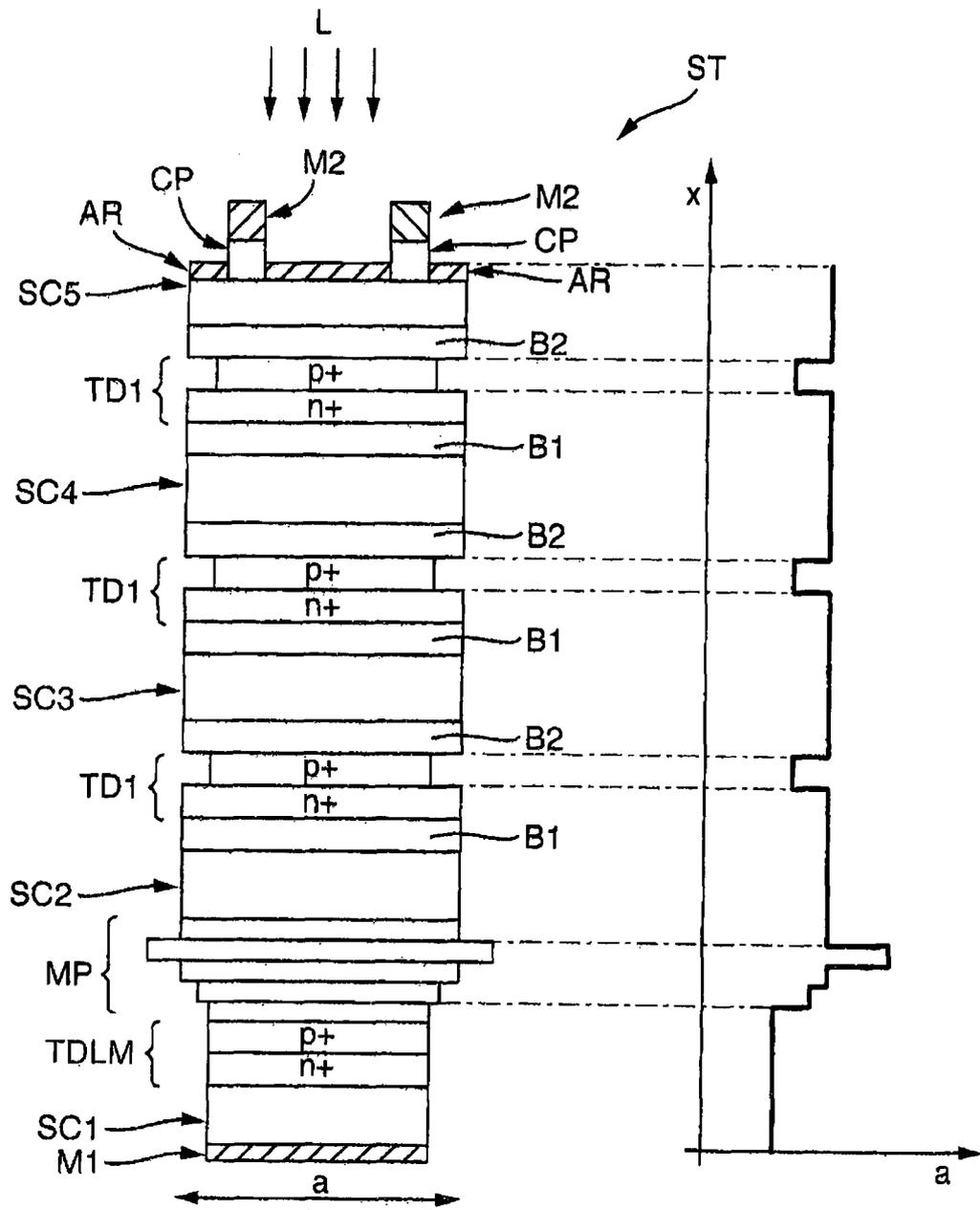


Fig. 7