



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 091**

51 Int. Cl.:
H01L 31/072 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06828693 .9**

96 Fecha de presentación : **12.12.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1969643**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.09.2008**

54 Título: **Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino.**

30 Prioridad: **13.12.2005 DE 20 2005 019 799 U**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
31.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
31.05.2011

73 Titular/es: **HELMHOLTZ-ZENTRUM BERLIN FÜR
MATERIALIEN UND ENERGIE GmbH
Glienicke Strasse 100
14109 Berlin, DE**

72 Inventor/es: **Schmidt, Manfred;
Von Maydell, Karsten;
Korte, Lars y
Conrad, Erhard**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 360 091 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

Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino

5 El invento se refiere a una pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino (pila solar heterogénea de a-Si/c-Si) que tiene por lo menos una capa absorbente de Si cristalino con un tipo de conducción, en la que por el lado de la incidencia de luz se disponen una capa emisora de Si amorfo con el tipo opuesto de conducción, sobre ésta una capa de TCO (acrónimo de Transparent Conductive Oxide = óxido conductor transparente) y un contacto delantero, y por el otro lado se dispone un contacto trasero.

10 Una tal pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino se describe en el documento de patente los EE.UU. 5.705.828 como estado de la técnica (véanse la Fig. 1B y la correspondiente descripción). Esta disposición tiene un electrodo delantero transparente, una primera capa semiconductor amorfa con un tipo de conducción, una capa semiconductor cristalina con el tipo opuesto de conducción, que debe de absorber la luz que pasa a través del electrodo delantero de la primera capa semiconductor amorfa. Sobre la capa semiconductor cristalina están dispuestas una segunda capa semiconductor amorfa con un tipo opuesto de conducción al de la primera capa semiconductor transparente y un contacto trasero. Sin embargo, de esta publicación no se puede deducir ninguna
15 indicación acerca de qué parámetros (p.ej. espesores de capas, concentraciones de dopaje para el tipo a-Si:H(n)/c-Si(p)/a-Si:H(p)) debe de tener una de tales sucesiones de capas para que se establezca su realizabilidad como pila solar heterogénea de a-Si/c-Si, con el fin de conseguir los deseados efectos. El dopaje indicado para la sucesión inversa de dopaje es demasiado alto y no es óptimo. Con el fin de mejorar la eficiencia de una pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino, está previsto – partiendo del mencionado estado de la técnica – disponer una segunda transición de semiconductores.

20 En las publicaciones del documento de patente de los EE.UU US 4.109.271 A1 y de "PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS [PROGRESOS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES], tomo 12, 2004, páginas 113-142, XP002430878 se indican para pilas solares de capa delgada del tipo pin, en las que la capa intrínseca de Si amorfo forma el absorbente, unos parámetros para una eficiente pila solar. Para ello, en la publicación mencionada en último término se indica la energía Urbach para $\mu\text{-Si:H}$, y en la publicación mencionada en primer término se indica la densidad de los portadores de cargas para un Si producido mediante descarga incandescente. Estos parámetros de defectos (la energía Urbach es el parámetro que describe la distribución de densidades de estados en los salientes de banda, y la densidad de defectos representa el número de los defectos por unidad de volumen) se diferencian sin embargo de los de una pila solar de estructura heterogénea a-Si/c-Si basada en una oblea.

25 Es misión del invento presentar otra pila solar heterogénea de Si amorfo/cristalino de acuerdo con el invento, cuyos parámetros garanticen una mejoría del grado de efecto de una pila solar heterogénea de Si amorfo/cristalino de este tipo.

35 El problema planteado por esta misión se resuelve por medio de una pila solar heterogénea de Si amorfo/cristalino, que se menciona al comienzo, mediante el recurso de que, de acuerdo con el invento, la capa emisora de Si amorfo tiene una pequeña densidad de defectos $n(E)$ menor que 10^{19} cm^{-3} y está caracterizada por una energía de Urbach menor que 90 meV y el nivel de Fermi (E_f) está situado cercano de la arista de la banda de valencia o de conducción de la capa de Si amorfo.

40 En el caso de esta solución al problema, se aprovechó el reconocimiento de que por medio del ajuste de los parámetros y de las propiedades electrónicos/as fundamentales de la transición heterogénea – tal como la situación del nivel de Fermi y la densidad de defectos y la densidad de estados en la capa emisora de Si amorfo – se puede influir esencialmente sobre el grado de efecto de la pila solar descrita.

45 Mediante la espectroscopia de fotoelectrones de UV (que se describe p.ej. en J. Non-Cryst. Solids 338-340, 2004, página 211) se puede determinar la densidad de los estados ocupados en la zona prohibida, así como a partir del espectro se puede determinar la situación del nivel de Fermi, que de acuerdo con el invento, está situado cercano de la arista de la banda característica para el portador mayoritario de cargas de la capa emisora de Si amorfo.

De acuerdo con el estado de la técnica, la capa absorbente de Si cristalino puede estar formada a base de Si cristalino (c-), multicristalino (mc-), estirado en cinta (EFG-) o de silicio cristalino de capa delgada sobre vidrio.

50 En unas formas de realización del invento está previsto que en el caso de una capa absorbente de Si cristalino de conducción p y de una capa emisora de Si amorfo de conducción n, el nivel de Fermi se encuentra cercano de la arista de conducción del Si amorfo, y en el caso de la estructura inversa (una capa absorbente de Si cristalino de conducción n y una capa emisora de Si amorfo de conducción p) el nivel de Fermi se encuentra cercano de la arista de la banda de valencia de la capa de Si amorfo. El nivel de Fermi está situado en ambos casos entre 0,2 eV y 0,45

eV por debajo de la arista de la banda de conducción para una capa de silicio amorfo de conducción n o respectivamente por encima de la arista de la banda de valencia para una capa de silicio amorfo de conducción p.

5 En otra forma de realización del invento, entre la capa absorbente de Si cristalino y el contacto trasero está dispuesta otra capa de Si amorfo con el mismo tipo de conducción que la capa absorbente de Si cristalino, estando tan altamente dopada la otra capa de Si amorfo que resulta una dobladura de banda en la capa absorbente de Si cristalino y por consiguiente una barrera de potencial para los portadores minoritarios de cargas. Los portadores minoritarios de cargas en la capa absorbente de Si cristalino son reflejados entonces prácticamente en el lado trasero de esta capa. El espesor de esta otra capa de Si amorfo está situado entre 5 nm y 40 nm.

10 El espesor de la capa emisora de Si amorfo está situado entre 5 nm y 10 nm y el espesor de la capa de TCO es de aproximadamente 80 nm.

15 Otra forma de realización del invento prevé que entre la otra capa de Si amorfo y el contacto trasero esté dispuesta otra capa de TCO. Esta disposición tiene por una parte la ventaja de que los fotones de baja energía son reflejados de una manera más efectiva y por consiguiente aumenta la absorción en el absorbente. Por otro lado, la capa a-Si:H está protegida con relación a la capa de metal. En caso contrario se podría llegar a una interdifusión y por consiguiente a una indeseada formación de sitios perturbados.

En otra forma de realización del invento, la capa absorbente de Si cristalino tiene una textura superficial. De esta manera se reduce la reflexión de la superficie, lo cual conduce a una elevación de la corriente eléctrica en la pila solar.

El invento es explicado con mayor detalle en el siguiente ejemplo de realización con ayuda de Figuras.

20 En este caso

La Fig. 1: muestra: el esquema de una pila solar heterogénea a-Si:H/c-Si de acuerdo con el invento.

La Fig. 2: muestra la estructura de bandas de una transición heterogénea de una pila solar heterogénea a-Si:H/c-Si de acuerdo con el invento.

25 La pila solar representada en la Fig. 1 tiene una capa absorbente de Si cristalino de conducción p **c-Si(p)**, sobre uno de cuyos lados se disponen una capa emisora de Si amorfo de conducción n con un espesor de 5 nm **a-Si(n)**, sobre ésta una capa de TCO con un espesor de 80 nm **TCO** y un contacto delantero **FK**. Por el otro lado de la capa absorbente de Si cristalino de conducción p **c-Si(p)** está dispuesto un contacto trasero **RK**. La capa emisora de Si amorfo de conducción n **a-Si(n)** tiene una densidad de defectos **n(E)** de 10^{18} cm^{-3} y está caracterizada por una energía Urbach de 85 meV. El nivel de Fermi **E_F** está situado cercano de la arista de la banda de conducción de la capa de Si amorfo **a-Si(n)**. Entre la capa absorbente de Si cristalino **c-Si(p)** y el contacto trasero **RK** está dispuesta otra capa de Si amorfo de conducción p **a-Si(p)** con un espesor de capa de 35 nm. Esta capa de Si amorfo de conducción p **a-Si(p)** está dopada en tan alto grado que resulta una barrera de potencial para los portadores minoritarios de cargas de la transición heterogénea c-Si(p)/a-Si:H(p).

35 Entre la capa de Si amorfo de conducción p **a-Si:H(p)** y el contacto trasero **RK** se puede introducir otra capa de TCO (no representada en la Figura).

40 La Figura 2 muestra la estructura de bandas de una transición heterogénea de una pila solar heterogénea a-Si:H(n)/c-Si(p)/a-Si:H(p). Unos cálculos de modelos para la eficiencia de una pila solar conforme al invento con una transición de este tipo confirman el resultado de que la eficiencia depende de las discontinuidades de bandas para los portadores minoritarios de cargas, de la densidad de estados interfaciales en las transiciones heterogéneas entre las capas de Si amorfo **a-Si:H(n)** y **a-Si:H(p)** y la capa absorbente de Si cristalino, de la dobladura de banda en la capa absorbente de Si cristalino **c-Si**, de la longitud de difusión de los portadores minoritarios de cargas en la capa absorbente de Si cristalino y de la densidad de defectos en las capas de Si amorfo **a-Si:H(n, p)**.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino que tiene por lo menos una capa absorbente de Si cristalino de un tipo de conducción, sobre uno de cuyos lados se disponen una capa emisora de Si amorfo del tipo opuesto de conducción, sobre ésta una capa de TCO y un contacto delantero, y sobre cuyo otro lado se dispone un contacto trasero,
caracterizada porque
- la capa emisora de Si amorfo tiene una pequeña densidad de defectos $n(E)$ menor que 10^{19} cm^{-3} y está caracterizada por una energía de Urbach menor que 90 meV, y
- 10 de tal manera que el nivel de Fermi (E_F) está situado cercano de la arista de la banda de valencia (E_V) o de la arista de la banda de conducción (E_C) de la capa emisora de Si amorfo.
- 15 2. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizada porque
la capa absorbente de Si cristalino es conductora p (c-Si(p)) y la capa emisora de Si amorfo es conductora n (a-Si(n)), estando situado el nivel de Fermi (E_F) cercano de la arista de la banda de conducción (E_C) de la capa de Si amorfo, y se realiza que $0,2 \text{ eV} < (E_C - E_F) < 0,45 \text{ eV}$.
- 20 3. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizada porque
la capa absorbente de Si cristalino es conductora n y la capa emisora de Si amorfo es conductora p, estando situado el nivel de Fermi (E_F) cercano de la arista de la banda de valencia (E_V) de la capa de Si amorfo, y se realiza que $0,2 \text{ eV} < (E_F - E_C) < 0,45 \text{ eV}$.
- 25 4. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizada porque
entre la capa absorbente de Si cristalino y el contacto trasero se dispone otra capa de Si amorfo con el mismo tipo de conducción que la capa absorbente de Si cristalino, estando dopada la otra capa de Si amorfo en tan alto grado que resulta una barrera de potencial para los portadores minoritarios de cargas.
- 30 5. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con por lo menos una de las reivindicaciones 1 hasta 4,
caracterizada porque
el espesor de la capa emisora de Si amorfo está situado entre 5 nm y 10 nm y el espesor de la capa de TCO es de aproximadamente 80 nm.
- 35 6. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con la reivindicación 4,
caracterizada porque
el espesor de la otra capa de Si amorfo con el mismo tipo de conducción que la capa absorbente de Si cristalino está situado entre 5 nm y 40 nm.
- 40 7. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con la reivindicación 4,
caracterizada porque
entre la otra capa de Si amorfo y el contacto trasero se encuentra otra capa de TCO.
8. Pila solar heterogénea de silicio amorfo/cristalino de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizada porque
la capa absorbente de Si cristalino tiene una textura superficial.

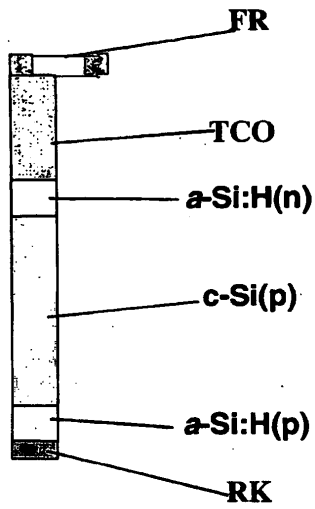


Fig. 1

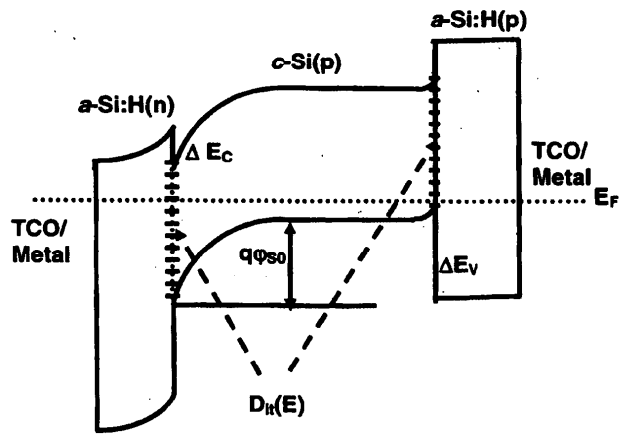


Fig. 2