



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) PI 0718008-0 A2



(22) Data de Depósito: 23/10/2007
(43) Data da Publicação: 26/11/2013
(RPI 2238)

(51) Int.Cl.:
H01L 31/0224

(54) Título: ELETRODO FRONTAL COM UMA CAMADA DE FILME METÁLICO FINA E UMA CAMADA DE COMPENSAÇÃO DE ELEVADA FUNÇÃO DE TRABALHO PARA USO EM DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DO MESMO

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 02/11/2006 US 11/591,676

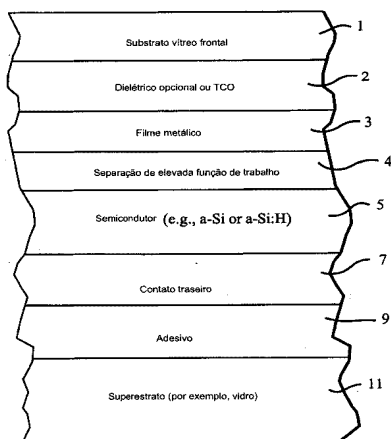
(73) Titular(es): Guardian Industries Corp.

(72) Inventor(es): Alexey Krasnov

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007022427 de 23/10/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/057202 de 15/05/2008



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"ELETRODO
FRONTAL COM UMA CAMADA DE FILME METÁLICO FINA E UMA CAMA-
DA DE COMPENSAÇÃO DE ELEVADA FUNÇÃO DE TRABALHO PARA
USO EM DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO
DO MESMO"**.

A presente invenção refere-se a um dispositivo fotovoltaico que inclui um contato/eletrodo frontal. Em certas modalidades exemplificativas, o dispositivo fotovoltaico de eletrodo frontal inclui um filme metálico altamente condutivo e uma camada de compensação fina de elevada função de trabalho.

A camada de compensação de elevada função de trabalho está localizada entre o filme metálico e a camada semicondutora mais superior do dispositivo fotovoltaico, de modo a fornecer uma substancial função de trabalho que promove o ajuste entre o filme metálico e a camada semicondutora mais superior de elevada função de trabalho do dispositivo, com o objetivo de reduzir uma potencial barreira para os buracos extraídos do dispositivo pelo contato/eletrodo frontal. Opcionalmente, uma camada como um óxido condutor transparente (TCO) ou um dielétrico pode ser fornecida entre um substrato vítreo frontal e o filme metálico em certos casos exemplificativos.

**ANTECEDENTES E SUMÁRIO DAS MODALIDADES EXEMPLIFICATIVAS DA
INVENÇÃO**

Os dispositivos fotovoltaicos são conhecidos na técnica (por exemplo, vide as Patentes US N^{os} 6.784.361, 6.288.325, 6.613.603 e 6.123.824, cujas descrições são aqui incorporadas por meio de citação). Dispositivos fotovoltaicos de silício amorfo, por exemplo, incluem um contato ou eletrodo frontal. Tipicamente, o eletrodo frontal transparente (que pode incluir o contato frontal conforme aqui usado) é feito de um óxido condutor transparente (TCO), tal como óxido de zinco ou óxido de estanho formado em um substrato como o substrato vítreo. Em diversos casos, o eletrodo frontal transparente é formado de uma única camada usando um método de pirólise química em que os precursores são aspergidos sobre um substrato vítreo a aproximadamente 400 a 600 graus Celsius. Os eletrodos frontais feitos unicamente de uma camada de TCO de óxido de estanho dopado com flúor são indesejáveis, pois tendem a escure-

cer nas atmosferas de hidrogênio que podem ser usadas durante uma deposição de absorvente de Si-a:H. Como outro exemplo, os eletrodos frontais feitos unicamente de uma camada de TCO de óxido de zinco são inconvenientes pelo fato de, em certos casos, apresentarem condutividade insuficiente.

5 Os TCOs típicos usados para certos eletrodos frontais de dispositivos fotovoltaicos são do tipo n e, portanto, podem criar uma barreira de Schottky na interface entre o TCO e a camada semicondutora mais superior do dispositivo fotovoltaico (por exemplo, camada a base de silício do tipo p) em direção inversa à do campo embutido. Tal barreira pode atuar como uma barreira para
10 buracos extraídos do dispositivo pelo eletrodo frontal, induzindo deste modo uma execução ineficiente.

Assim, a invenção será valorizada pelo fato de existir na técnica a necessidade de um eletrodo frontal aprimorado para um dispositivo fotovoltaico que possa reduzir a barreira potencial para os buracos extraídos de um dispositivo fotovoltaico pelo eletrodo frontal.
15

Para superar o problema já mencionado, o eletrodo frontal do dispositivo fotovoltaico é fornecido com ambos: (a) um filme metálico transparente (ou substancialmente metálico) de um material como Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Al e suas ligas, uma combinação de dois ou mais desses metais com outros metais, ou similares, e (b) uma camada de compensação transparente de elevada função de trabalho. O filme metálico transparente pode ser um filme de baixa função de trabalho em certas modalidades exemplificativas. A camada de compensação de elevada função de trabalho está localizada entre o filme metálico e a camada semicondutora mais superior do dispositivo fotovoltaico de modo a prover substancial função de trabalho entre o filme metálico e a camada mais alta semicondutora do dispositivo, de modo a reduzir uma potencial barreira para os buracos extraídos do dispositivo pelo contato frontal. Ademais, esta estrutura do eletrodo frontal é vantajosa, pois todo o eletrodo frontal pode ser mais fino que os eletrodos convencionais, permitindo desta forma que sua fabricação seja
20
25
30 mais rápida e apresente menor custo.

Nos dispositivos fotovoltaicos ou similares, é desejável, além da condutividade na direção lateral, uma boa condutividade elétrica na direção or-

togonal, para que se possam extrair efetivamente as portadoras de carga geradas a partir do dispositivo semicondutor. De acordo com certas modalidades exemplificativas da presente invenção, é usada uma combinação de um filme metálico fino e de um filme de separação fino de ajuste de elevada função de trabalho para uso em associação à estrutura do eletrodo frontal. A camada de compensação de ajuste de elevada função de trabalho é fornecida para a função de trabalho que promove o ajuste substancial do filme metálico e do absorvedor semicondutor do dispositivo fotovoltaico. Isto faz com que o absorvedor semicondutor libere com mais facilidade os buracos gerados; em outras palavras, seu nível de Fermi pode ser aumentado, e a potencial barreira para as portadoras de carga podem ser reduzidas, melhorando desta forma a eficiência do dispositivo.

Em certas modalidades exemplificativas, a camada da barreira de elevada função de trabalho (a camada que ajusta substancialmente a função de trabalho) pode ser um óxido condutor transparente (TCO) como o óxido de índio-estanho (ITO enriquecido com oxigênio ou ITO estequiométrico), óxido de índio-zinco, óxido de zinco, óxido de zinco-alumínio, óxido de estanho, óxido de estanho-antimônio, ou similar. Em outras modalidades exemplificativas desta invenção, a camada de barreira de elevada função de trabalho pode ser um dielétrico como o óxido de estanho, óxido de zinco, ou similar.

Opcionalmente, uma camada de nucleação pode ser fornecida entre o substrato vítreo frontal e o filme metálico em certas modalidades exemplificativas da presente invenção. A camada de nucleação pode ser usada para melhorar a qualidade do filme metálico e/ou para melhorar a adesão do filme metálico ao substrato vítreo. Em certas modalidades exemplificativas, a camada de nucleação pode consistir em um TCO de, ou incluir um material, tal como óxido de estanho, óxido de estanho dopado com flúor, óxido de zinco, óxido de zinco dopado com alumínio, óxido de índio-zinco ou similar. Alternativamente, a camada de nucleação pode ser um dielétrico em certas modalidades exemplificativas desta invenção. A camada de nucleação, além de fornecer maior durabilidade, também pode ser vantajosa pelo fato de reduzir a reflexão da luz visível, permitindo desta forma que uma maior quantidade de luz atinja o absorvedor

semicondutor do dispositivo, aumentando assim a eficiência. Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, é fornecido um dispositivo fotovoltaico que compreende: um substrato vítreo frontal, um filme semicondutor ativo, uma estrutura de eletrodo frontal substancialmente transparente e eletricamente condutiva localizada entre ao menos o substrato vítreo frontal e o filme semicondutor; em que a estrutura de eletrodo frontal compreende um filme metálico substancialmente transparente que possui uma função de trabalho relativamente baixa, e um filme de separação de elevada função de trabalho; e em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que é mais alta que a função de trabalho do filme metálico, e o filme de separação de elevada função de trabalho está localizado entre o filme metálico e a porção mais superior do filme semicondutor.

Em outras modalidades exemplificativas da invenção, é fornecida uma estrutura de eletrodo adaptada para uso em um dispositivo fotovoltaico, sendo que a estrutura do eletrodo compreende: um substrato vítreo; um filme metálico substancialmente transparente sustentado pelo substrato vítreo; e um filme de separação de elevada função de trabalho sustentado pelo substrato vítreo, em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que é mais alta que a função de trabalho do filme metálico, e o filme metálico está localizado entre ao menos o filme de separação de elevada função de trabalho e o substrato vítreo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 é uma vista em seção transversal de um dispositivo fotovoltaico exemplificativo de acordo com uma modalidade exemplificativa da presente invenção.

A figura 2 é uma vista em seção transversal de um dispositivo fotovoltaico exemplificativo de acordo com uma modalidade exemplificativa da presente invenção.

A figura 3 é um gráfico que ilustra as posições do nível de Fermi e a banda de certos materiais, e um tipo p de Si-a:H em relação a um nível de vácuo e a um eletrodo de hidrogênio normal (NHE).

A figura 4(a)-4(b) são gráficos que ilustram as posições relativas de

camadas separadas de TCO e camadas de Si-a para ilustrar a vantagem do uso do ITO em relação ao ZnAlOx como material da camada de compensação, muito embora ambas possam ser usadas em diferentes modalidades exemplificativas da presente invenção.

5 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES EXEMPLIFICATIVAS DA INVENÇÃO

Refere-se mais particularmente neste momento aos desenhos, em que números idênticos indicam partes idênticas em todas as diversas vistas.

Dispositivos fotovoltaicos tais como células solares convertem radiação solar e outras luzes em energia elétrica usável. A conversão de energia
10 ocorre tipicamente como resultado do efeito fotovoltaico. A radiação solar (por exemplo, a luz solar) que colide sobre um dispositivo fotovoltaico e que é absorvida por uma região ativa de um material semicondutor (por exemplo, um filme semicondutor que inclui uma ou mais camadas semicondutoras, tais como as
15 camadas Si-a) gera pares elétron buraco na região ativa. Os elétrons e os buracos podem ser separados por um campo elétrico de uma junção de um dispositivo fotovoltaico. A separação dos elétrons e buracos pela junção resulta na geração de uma corrente e na voltagem elétrica. Em certas modalidades exemplificativas, os elétrons fluem em direção à região do material semicondutor que
20 possui uma condutividade do tipo n, e os buracos fluem em direção à região do semicondutor que possui a condutividade do tipo p. A corrente pode fluir através de um circuito externo que conecta a região de tipo n à região de tipo p na medida em que a luz gera pares elétron buraco no dispositivo fotovoltaico.

Em certas modalidades exemplificativas, os dispositivos fotovoltaicos de silício amorfo de junção única (Si-a) incluem três camadas semicondutoras. Em particular, uma camada p, uma camada n e uma camada i que é intrínseca. O filme de silício amorfo (que pode incluir uma ou mais camadas como as camadas do tipo p, n e i) pode ser de silício amorfo hidrogenado em certos casos, mas também pode ser de ou incluir carbono de silício amorfo hidrogenado
25 ou germânio de silício amorfo hidrogenado, ou similar, em certas modalidades exemplificativas da invenção. Por exemplo e sem restrições, quando um fóton de luz é absorvido na camada i, ele origina uma unidade de corrente elétrica
30

(um par elétron buraco). As camadas p e n, as quais contêm íons dopantes carregados, estabelecem um campo elétrico através da camada i que extrai e envia a carga elétrica da camada i para um circuito externo opcional, em que pode fornecer energia para os componentes elétricos. Observa-se que enquanto certas modalidades exemplificativas da presente invenção são direcionadas aos dispositivos fotovoltaicos baseados em silício amorfo, a presente invenção não se limita a esta forma, e pode em certos casos ser usada em conjunto com outros tipos de dispositivos fotovoltaicos, inclusive, entre outros, dispositivos que compreendem outros tipos de material semicondutor, células solares de filme fino em série e similares. Certas modalidades exemplificativas da presente invenção podem ser aplicáveis a dispositivos fotovoltaicos do tipo CdS/CdTe, por exemplo.

A figura 1 é uma vista em seção transversal de um dispositivo fotovoltaico de acordo com uma modalidade exemplificativa da presente invenção. O dispositivo fotovoltaico inclui um substrato vítreo frontal transparente 1, camada de nucleação do óxido condutor transparente (TCO) ou dielétrico opcional 2, filme metálico multicamadas ou de camada única 3 opcionalmente caracterizado por uma função de trabalho relativamente baixa, uma camada de compensação de elevada função de trabalho 4, um filme semicondutor ativo 5 de uma ou mais camadas semicondutoras, contato ou eletrodo traseiro 7, que pode consistir em TCO ou metal, um encapsulante opcional 9 ou adesivo de um material como etil vinil acetato (EVA) ou similar, e um superestrato opcional 11 de um material como vidro. O eletrodo frontal na modalidade da figura 1 pode consistir em ou incluir filme metálico 3, e opcionalmente pode também incluir a camada de barreira de elevada função de trabalho 4 e/ou camada 2, se uma ou as duas camadas 2, 4 for/forem condutivas. Naturalmente, outra camada(s) que não é mostrada também pode ser fornecida no dispositivo. A figura 2 é similar à figura 1, a não ser pelo fato de que o filme metálico 3 da modalidade da figura 2 inclui uma primeira camada metálica 3a de prata ou similar e uma segunda camada metálica 3b de ouro ou similar. A função de trabalho do filme metálico 3 pode variar dependendo de qual metal é usado para fabricar o mesmo. Por exemplo, enquanto a função de trabalho do filme metálico é mais baixa que a do

filme de separação, muitos indivíduos podem afirmara que a função de trabalho do filme metálico é alta quando o Ag, Au e/ou Pd é usado, já que muitos os consideram metais de função de trabalho relativamente elevada.

O substrato vítreo frontal 1 e/ou o superestrato traseiro (substrato) 11 pode ser feito de vidro a base de sílica-cal-soda em certas modalidades exemplificativas da presente invenção. Enquanto os substratos 1, 11 podem ser constituídos de vidro em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, outros materiais como quartzo ou similar podem, em vez disso, serem usados como substrato(s) 1 e/ou 11. Ademais, o superestrato 11 é opcional em certos casos. O vidro 1 e/ou 11 pode ou não ser temperado termicamente e/ou padronizado em certas modalidades exemplificativas da presente invenção. Adicionalmente, será avaliado o fato de que a palavra "sobre", conforme aqui usada, abrange tanto uma camada que está diretamente quanto indiretamente sobre algo, com a possibilidade de que outras camadas estejam localizadas entre elas.

A camada de nucleação 2 pode ser fornecida entre o substrato vítreo frontal 1 e o filme metálico 3 em certas modalidades exemplificativas da presente invenção. A camada de nucleação 3 pode ser usada para melhorar a qualidade do filme metálico 3 e/ou para melhorar a adesão do filme metálico 3 ao substrato vítreo 1. Em certas modalidades exemplificativas, a camada de nucleação 2 pode ser um TCO de ou incluir um material como óxido de estanho, óxido de estanho dopado com flúor, óxido de zinco, óxido de zinco dopado com alumínio, óxido de índio-zinco, óxido de estanho-índio ou similar. Alternativamente, a camada de nucleação 2 pode ser um dielétrico em certas modalidades exemplificativas da presente invenção como óxido de zinco, óxido de estanho ou similar. Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, a camada de nucleação 2 possui uma espessura de cerca de 40 a 4.000 Å, mais preferencialmente de 60 a 1.000 Å, e mais preferencialmente ainda de cerca de 80 a 400 Å, com um exemplo que possui cerca de 50 ou 100 Å (isto é, cerca de 5 ou 10 nm) de espessura. A camada de nucleação 2 pode ter uma de função de trabalho relativamente baixa em certas modalidades exemplificativas da presente invenção. Novamente, é possível afirmar que o filme metálico 3 é um filme

de baixa função de trabalho em certas modalidades exemplificativas.

Em certas modalidades exemplificativas, o filme metálico 3 pode ser uma camada única substancialmente metálica, ou como alternativa, pode ser uma pluralidade de camadas substancialmente metálicas. Enquanto o filme metálico 3 é inteiramente metálico em certas modalidades exemplificativas, ele também pode incluir pequenas quantidades de outros elementos como oxigênio ou similar em certos casos. Em certas modalidades exemplificativas, cada camada do filme metálico condutor 3 pode consistir em ou incluir Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Al, ligas dessas substâncias com outro metal (s) ou similares. O uso de cobre para o filme 3 pode ser vantajoso em certos casos exemplificativos no que diz respeito ao custo, transmissão na faixa do visível, e função de trabalho (cerca de 4,7 eV). Por exemplo, em um exemplo, o filme metálico 3 pode ser produzido de uma camada metálica única de ou que inclui Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Al ou ligas de um ou mais destes metais. Em outra modalidade exemplificativa mostrada na figura 2, o filme metálico 3 pode ser produzido de ou incluir uma camada de prata 3a e uma camada de ouro 3b que estão em contato uma com a outra. Assim, será apreciado que em certas modalidades, o filme metálico 3 possa ser uma pilha de múltiplas camadas de ligas metálicas ou metais distintos, ou óxidos metálicos, ou uma liga metálica com uma composição selecionada. O filme metálico 3 é substancialmente ou inteiramente metálico em certas modalidades exemplificativas, e tipicamente possui uma função de trabalho relativamente baixa em certas modalidades exemplificativas. Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, o filme metálico 3 possui uma estrutura de cerca de 20 a 600 Å, mais preferencialmente de cerca de 40 a 200 Å, ainda mais preferencialmente de 60 a 200 Å, com uma espessura exemplificativa de cerca de 90 a 150 Å.

O filme ou camada de compensação de elevada função de trabalho 4 é fornecida entre, e opcionalmente, estabelece contato, com o filme metálico 3 e o semicondutor 5 do dispositivo fotovoltaico. Em certas modalidades exemplificativas, o filme ou camada de compensação de elevada função de trabalho 4 pode ser feito de uma camada de óxido condutor transparente (TCO) de ou que inclui óxido de estanho (ITO enriquecido por oxigênio), ou ITO estequiométrico),

óxido de índio-zinco, óxido de zinco, óxido de alumínio-zinco, ou óxido de estanho dopado ou não com flúor, óxido de antimônio-estanho ou similar. Por exemplo, em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, a camada de compensação de elevada função de trabalho 4 pode ser formada evaporando um alvo ITO cerâmico em uma atmosfera gasosa que inclui uma mistura de Ar (e/ou qualquer outro gás inerte) e gases oxigênio; em outras modalidades exemplificativas, o filme metálico 4 pode ser formado pela evaporação de um alvo metálico InSn em uma atmosfera gasosa que inclui uma mistura de Ar (e/ou qualquer outro gás inerte) e gases oxigênio, sendo que uma quantidade elevada de gás oxigênio é usada para promover o enriquecimento do filme ITO resultante com oxigênio e ter uma função de trabalho mais elevada. Em outras modalidades exemplificativas desta invenção, o filme ou a camada de compensação de elevada função de trabalho 4 possui uma espessura de cerca de 10 a 1.000 Å, mais preferencialmente de cerca de 20 a 100 Å, ainda mais preferencialmente de cerca de 25 a 60 Å, com uma espessura exemplificativa que é de cerca de 30 a 50 Å. Se o filme for demasiado espesso, sua função de trabalho pode ser indesejável. Enquanto as espessuras mencionadas acima para a camada ou filme 4 são particularmente aplicáveis quando o filme ou camada de compensação de elevada função de trabalho 4 é um TCO, é possível tornar o filme ou camada de compensação de elevada função de trabalho 4 ainda mais fina (por exemplo, cerca de 5-30 Å de espessura, por exemplo, cerca de 10 Å de espessura) quando a camada ou filme 4 é um dielétrico.

Será valorizado o fato de que os elementos/filmes 1, 2, 3 e 4 são todos substancialmente transparentes em certas modalidades exemplificativas desta invenção, permitindo que a luz atinja o semicondutor/absorvedor ativo do dispositivo fotovoltaico.

Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, o dispositivo fotovoltaico pode ser produzido fornecendo o substrato vítreo 1, e em seguida depositando (por exemplo, através de evaporação, pirólise ou qualquer outra técnica adequada) as camadas 2, 3 e 4 sobre o substrato 1 nesta ordem. Daí por diante, a estrutura que inclui o substrato 1 e o eletrodo frontal é acoplada ao restante do dispositivo a fim de formar o dispositivo fotovoltaico mostrado

na figura 1 (ou figura 2). Por exemplo, a camada semicondutora 5 pode então ser formada acima da estrutura do eletrodo frontal sobre o substrato 1, ou como alternativa, pode ser formada sobre o outro substrato 11, estando, a partir daí, a estrutura de contato frontal acoplada ao mesmo. As camadas do eletrodo frontal 3 (e opcionalmente 4 e/ou 2) são, de modo típico, fornecidas contínua ou substancialmente continuamente, acima de substancialmente toda a superfície do filme semicondutor 5 em certas modalidades exemplificativas desta invenção, muito embora seja possível que as camadas do eletrodo frontal sejam padronizadas (por exemplo, através do uso de gravação a laser ou similar) em diferentes formas em certos casos.

Nos dispositivos fotovoltaicos ou similares, além da condutividade na direção lateral, é desejável uma boa condutividade elétrica na direção ortogonal, a fim de extrair efetivamente as portadoras de carga geradas a partir do dispositivo semicondutor. A boa condutividade é fornecida através de ao menos um filme metálico 3. Um problema potencial a esse respeito é a considerável diferença energética entre a função de trabalho do filme metálico 3 e o nível de Fermi do absorvedor semicondutor 5. Por exemplo e sem limitação, no caso do silício amorfo (Si-a) ou células solares de silício micromorfo, em que o absorvedor frontal for um Si-a ou Si-a:H, a diferença entre a função de trabalho do filme metálico 3 (Ag, por exemplo) e o nível de Fermi do absorvedor 5 pode ser igual a 0,9 eV, o que pode reduzir significativamente a eficiência do dispositivo. Para superar este problema potencial, de acordo com certas modalidades exemplificativas desta invenção, é usada uma combinação de um filme metálico fino 3 e um filme fino de separação de ajuste de função de trabalho 4 para uso em associação com a estrutura do eletrodo frontal. O filme de separação de ajuste da função de trabalho 4 é fornecido para a que a função de trabalho ajuste substancialmente o filme metálico 3 e o absorvedor semicondutor 5 do dispositivo fotovoltaico. Isto faz com que absorvedor semicondutor libere mais facilmente os buracos gerados; em outras palavras, seu nível de Fermi pode ser elevado, e a barreira potencial para as portadoras de carga pode ser reduzida, aumentando assim a eficiência do dispositivo. Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, o filme de separação de elevada função de trabalho 4 pode

ser feito de ITO enriquecido com oxigênio ou qualquer outro material adequado conforme discutido no presente, em certos casos exemplificativos. O filme de separação de elevada função de trabalho 4 está localizado entre o filme metálico de baixa função de trabalho e a porção do semicondutor mais superior (por exemplo, porção do semicondutor do tipo p) do filme 5 do dispositivo fotovoltaico, de modo a fornecer uma elevada função de trabalho substancial que promova o ajuste entre o filme metálico de baixa função de trabalho 3 e a porção do semicondutor mais superior do dispositivo, de modo a reduzir uma potencial barreira para os buracos extraídos do dispositivo pelo eletrodo frontal.

O filme de separação 4 para o ajuste de função de trabalho substancial pode ser um semicondutor como um TCO (por exemplo, ITO, ou outro material aqui mencionado, ou qualquer outro material adequado) que possui um nível de Fermi de grande energia, muito embora seja possível que um dielétrico bastante fino também pudesse ser usado para este filme/camada. A figura 3 ilustra o conceito geral, e as figuras 4a-4b demonstram a vantagem do ITO sobre outros materiais de separação, como o ZnAlO_x do ponto de vista do ajuste da função de trabalho do filme metálico 3 e do semicondutor 5. O uso de um dielétrico ultra fino como o filme 4 baseia-se em suas propriedades de tunelamento, quando a função de trabalho efetiva frasal pode ser aplicada; o que significa que, quando os filmes 3 e 5 são separados por um dielétrico ultrafino (por exemplo, um tipo de filme 4), o absorvedor do semicondutor 5 pode liberar os buracos gerados com mais facilidade. Em outros termos, seu nível de Fermi é aumentado e a barreira potencial para as portadoras de carga pode ser reduzida, aumentando desta forma a eficiência do dispositivo. Em certas modalidades exemplificativas, a função de trabalho do filme metálico 3 é substancialmente ajustada ao nível de Fermi do absorvedor 5 sintonizando o ajuste do nível de Fermi do filme de separação 4; o que pode ser obtido, por exemplo, variando os parâmetros de deposição do filme 4. Assim, será apreciado que a função de trabalho da camada de compensação ou filme de ajuste da função de trabalho 4 seja ajustada, através das condições de deposição, para ser maior que a função de trabalho do filme metálico 3 e/ou menor que o nível de Fermi da camada mais superior ou porção da camada do filme absorvedor semicondutor 5.

O uso do filme de ajuste 4, tal como o ITO ou um dielétrico fino, também pode fornecer o aumento da durabilidade da pilha da camada, de modo que o revestimento pode ser depositado em alinhamento e também expedido eficientemente aos fabricantes de células solares. Em outras palavras, o filme 4
5 também pode ser considerado uma camada de capeamento protetora para o filme metálico 3, de modo a protegê-lo durante a expedição ou similar.

Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, o eletrodo frontal transparente e/ou o filme de ajuste de elevada função de trabalho 4 possui uma função de trabalho que está na faixa de cerca de 4,0 a 5,7 eV
10 (por exemplo, para células solares micromorfas ou silício amorfo, por exemplo, sem fins restritivos), mais preferencialmente de cerca de 4,3 a 5,2 eV, ainda mais preferencialmente de cerca de 4,5 a 5,0 eV, ainda mais preferencialmente de cerca de 4,6 a 4,8 eV, com um exemplo que é de cerca de 4,7 eV. Em certas modalidades exemplificativas, o filme de separação de elevada função de trabalho 4 possui uma função de trabalho de ao menos cerca de 4% superior ao filme
15 metálico 3, mais preferencialmente 6% superior, e mais preferencialmente de ao menos cerca de 10% superior que a função de trabalho do filme metálico 3.

Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, o eletrodo frontal total, que inclui ao menos o filme metálico 3, pode ter uma resistência de folha (R_s) de cerca de 2 a 50 ohms/quadrado, mais preferencialmente
20 de 2-15 ohms/quadrado, e mais preferencialmente ainda de cerca de 2 a 10 ohms/quadrado.

A região semicondutora ativa ou filme 5 pode incluir uma ou mais camadas, e pode ser feita de qualquer material. Por exemplo, o filme semicondutor ativo 5 de um tipo de dispositivo fotovoltaico de silício (Si-a) amorfo de
25 junção simples inclui três camadas semicondutoras, chamada de, uma camada p, uma camada n e uma camada i. Uma camada de Si-a do tipo p do filme semicondutor 5 pode ser a porção mais superior do filme semicondutor 5 em certas modalidades exemplificativas desta invenção; e a camada i está tipicamente
30 localizada entre as camadas p e n. Estas camadas amorfas a base de silício do filme 5 podem consistir em ou incluir carbono de silício amorfo hidrogenado ou germânio de silício amorfo hidrogenado, ou outro material adequado em certas

modalidades exemplificativas da presente invenção. É possível que a região ativa 5 seja do tipo de junção dupla em modalidades alternativas da presente invenção. CdS/CdTe também pode ser usado para o semicondutor 5 em certos casos exemplificativos.

5 O contato ou eletrodo traseiro 7 pode consistir em qualquer material eletricamente condutor. Por exemplo e sem restrições, o contato ou eletrodo traseiro 7 pode consistir em um TCO e/ou metal em certos casos. Materiais TCO exemplificativos para uso como contato ou eletrodo traseiro 7 incluem óxi-
do de zinco-índio, óxido de estanho-índio (ITO), óxido de estanho, e/ou óxido de
10 zinco que pode ser dopado com alumínio (que pode ou não ser dopado com prata). O TCO do contato traseiro 7 pode consistir em um tipo de camada única ou um tipo de múltiplas camadas em diferentes casos. Mais ainda, o contato traseiro 7 pode incluir tanto uma porção TCO quando uma porção metálica em certos casos. Por exemplo, em uma modalidade exemplificativa de múltiplas
15 camadas, a porção do TCO do contato traseiro pode incluir uma camada de um material como óxido de índio-zinco (que pode ou não ser dopado com prata), óxido de estanho-índio (ITO), óxido de estanho e/ou óxido de zinco mais próxima à região ativa 5, e o contato traseiro pode incluir outra camada condutora e possivelmente refletiva de um material como prata, molibdênio, platina, aço,
20 ferro, nióbio, titânio, crômio, bismuto, antimônio ou alumínio além da região ativa 5 e mais próxima do superestrato 11. A porção metálica pode estar mais próxima ao superestrato 11 quando comparada com a porção TCO do contato traseiro 7.

O módulo fotovoltaico pode ser encapsulado ou parcialmente co-
25 berto com um material encapsulante como o encapsulante 9 em certas modalidades exemplificativas. Um adesivo ou encapsulante exemplificativo para a camada 9 é o EVA. Entretanto, outros materiais como o plástico do tipo Tedlar, plástico do tipo Nuvasil, plástico do tipo Tefzel ou similar pode ser usado para a camada 9 em diferentes casos.

30 Os materiais TCO tipicamente usados como contatos/eletrodos frontais nos dispositivos fotovoltaicos de filme fino (por exemplo, células solares) são em geral do tipo n, e criam deste modo uma barreira de Schottky na interfa-

ce entre o TCO e a porção do semiconductor mais superior do dispositivo, que pode ser uma camada/porção Si-a:H do tipo p (uma barreira de Schottky deste tipo pode estar em direção contrária a do campo embutido). Esta barreira é problemática, pois pode formar uma barreira para os buracos extraídos da célula pelo contato frontal, promovendo assim o ineficiente desempenho do dispositivo. Para superar este inconveniente, usa-se um material com uma função de trabalho mais elevada. Em certas modalidades exemplificativas da presente invenção, uma estrutura de eletrodo frontal de múltiplas camadas é fornecida formando um filme metálico 3 e adicionalmente um filme de separação fino 4 para fornecer uma função de trabalho aproximada ou mais substancial entre o filme 3 e a porção mais superior do filme semiconductor 5. Em certas modalidades exemplificativas, o nível de oxigênio pode aumentar de forma gradual ou periódica a partir da interface entre as camadas 3 e 4 até a interface entre as camadas/filme 4 e 5. Em outras palavras, a camada/filme de elevada função de trabalho 4 pode ser selecionada por oxidação em certas modalidades exemplificativas não-limitantes, de modo que seja possível obter um teor mais elevado de oxigênio em uma porção imediatamente adjacente ao filme semiconductor 5 do que em uma porção adjacente ao filme metálico 3; isto pode colaborar no sentido de aumentar o desempenho pelas razões aqui discutidas.

Apesar de a invenção ter sido descrita no que diz respeito à modalidade que é presentemente considerada como a mais prática e preferencial, é preciso compreender que a invenção não se limita à modalidade descrita, porém, pelo contrário, o objetivo é que a invenção englobe várias modificações e configurações equivalentes que estejam inseridas no espírito e no escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo fotovoltaico que compreende:
 - um substrato vítreo frontal;
 - um filme semicondutor ativo;
 - 5 uma estrutura de eletrodo frontal eletricamente condutiva e substancialmente transparente localizada entre ao menos o substrato vítreo frontal e o filme semicondutor;
 - em que a estrutura do eletrodo frontal compreende um filme metálico substancialmente transparente, e um filme de separação de elevada função
 - 10 de trabalho; e
 - em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho mais alta que a função de trabalho do filme metálico, e o filme de separação de elevada função de trabalho está localizado entre o filme metálico e a porção mais superior do filme semicondutor.
- 15 2. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho compreende um filme de TCO.
- 20 3. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho compreende o óxido de índio-estanho.
- 25 4. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho compreende o óxido de índio-estanho rico em oxigênio (ITO).
- 30 5. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme metálico compreende uma primeira e uma segunda camada substancialmente metálicas feitas de diferentes metais.
6. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho estabelece contato diretamente com o filme metálico e o filme semicondutor.
7. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme metálico possui uma função de trabalho não-superior a cerca de 4,2 eV, e o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de

trabalho de ao menos 4,3 eV.

8. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho ao menos cerca de 4% mais alta que a do filme metálico, mais preferencialmente ao menos 6% mais alta, e ainda mais preferencialmente ao menos cerca de 10% mais alta.

9. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que está na faixa de cerca de 4,0 a 5,7 eV.

10. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que está na faixa de cerca de 4,3 a 5,2 eV.

11. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que está na faixa de cerca de 4,5 a 5,0 eV.

12. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme metálico compreende um ou mais dentre o Cu, Ag, Au, Al, Ni e/ou Pd.

13. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme metálico compreende uma primeira camada que consiste essencialmente em um primeiro metal(s), e uma segunda camada que consiste essencialmente em um segundo metal(s) diferente.

14. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme metálico possui cerca de 20 a 600 angstroms de espessura, e o filme de separação de elevada função de trabalho possui cerca de 10 a 1.000 angstroms de espessura.

15. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme metálico possui cerca de 40 a 200 angstroms de espessura, e o filme de separação de elevada função de trabalho possui cerca de 10 a 100 angstroms de espessura.

16. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, que compreende ainda um filme de nucleação localizado entre o substrato vítreo

frontal e o filme metálico.

17. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 16, em que o filme de nucleação compreende um óxido condutor transparente.

5 18. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho é um filme dielétrico.

19. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme de separação de elevada função de trabalho é um dielétrico e possui uma espessura de cerca de 5 a 30 angstroms.

10 20. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme semicondutor compreende silício amorfo hidrogenado.

21. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, que compreende ainda um eletrodo traseiro, em que o filme semicondutor ativo é fornecido entre ao menos o eletrodo frontal e o eletrodo traseiro.

15 22. Dispositivo fotovoltaico, de acordo com a reivindicação 1, em que o filme da barreira de elevada função de trabalho é selecionado por oxidação, de forma contínua ou descontínua, de modo a possuir um teor de oxigênio mais elevado na área adjacente ao filme semicondutor do que na área adjacente ao filme metálico.

20 23. Estrutura de eletrodo adaptada para uso em dispositivo fotovoltaico, em que a estrutura do eletrodo compreende:

um substrato vítreo;

um filme metálico substancialmente transparente sustentado pelo substrato vítreo;

25 um filme de separação de elevada função de trabalho sustentado pelo substrato vítreo, em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que é mais alta que a função de trabalho do filme metálico, e o filme metálico está localizado entre ao menos o filme de separação de elevada função de trabalho e o substrato vítreo.

30 24. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, em que o filme de separação de elevada função de trabalho compreende um filme de TCO.

25. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, em

que o filme metálico compreende uma primeira e uma segunda camada substancialmente metálicas diferentes.

26. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, em que o filme de separação de elevada função de trabalho estabelece contato diretamente com o filme metálico e também é adaptado para estabelecer contato
5 diretamente com o filme semiconductor do dispositivo fotovoltaico.

27. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, em que o filme metálico possui uma função de trabalho não-superior a cerca de 4,2 eV, e o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de
10 trabalho de ao menos 4,3 eV, e em que o filme de separação de elevada função de trabalho possui uma função de trabalho que é ao menos cerca de 4% mais alta que a do filme metálico.

28. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, em que o filme metálico possui uma espessura de cerca de 40 a 200 angstroms, e o
15 filme de separação de elevada função de trabalho possui cerca de 10 a 100 angstroms de espessura.

29. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, que compreende ainda um filme de nucleação localizado entre o substrato vítreo e o filme metálico, em que o filme de nucleação compreende um óxido metálico.

20 30. Estrutura de eletrodo, de acordo com a reivindicação 23, em que o filme de separação de elevada função de trabalho é um dielétrico e possui uma espessura de cerca de 5 a 30 angstroms.

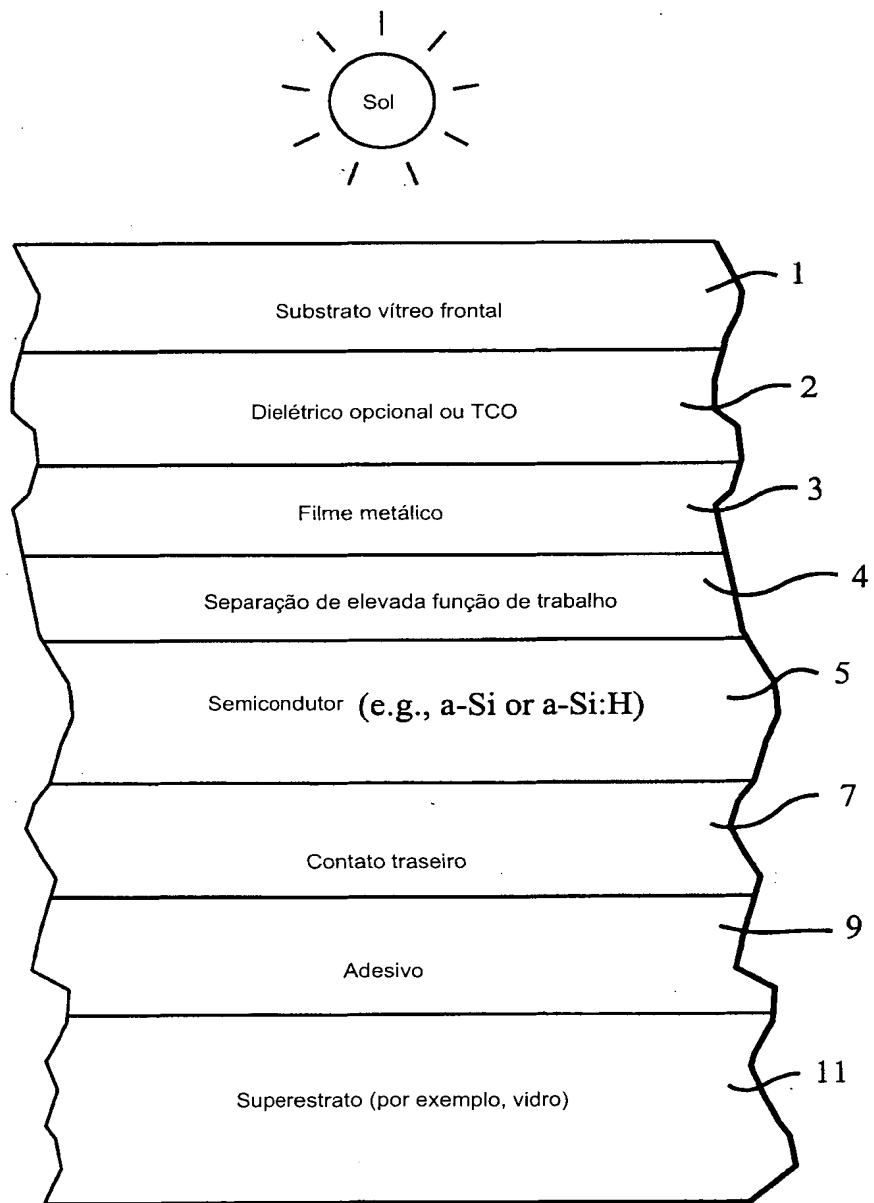


Fig. 1

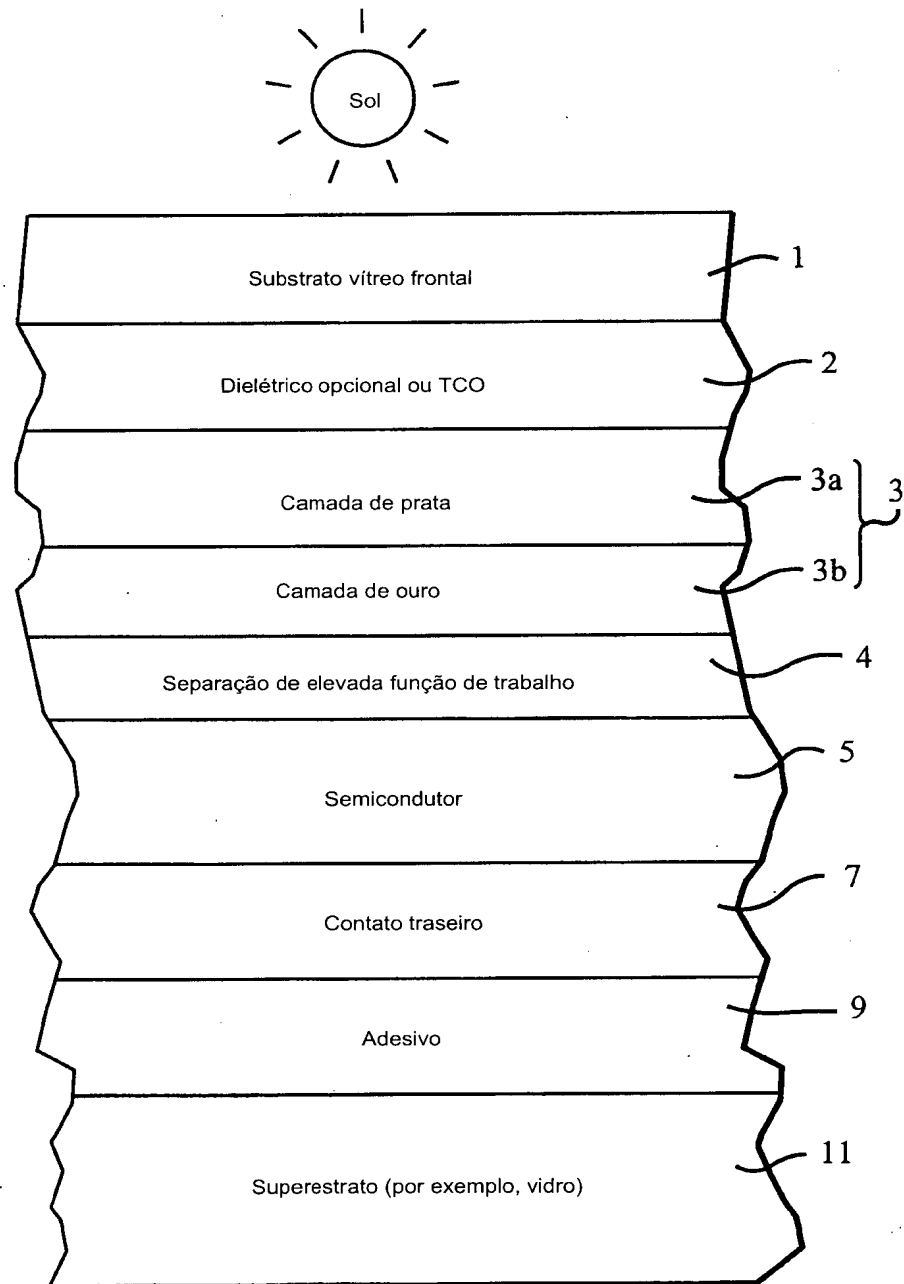


Fig. 2

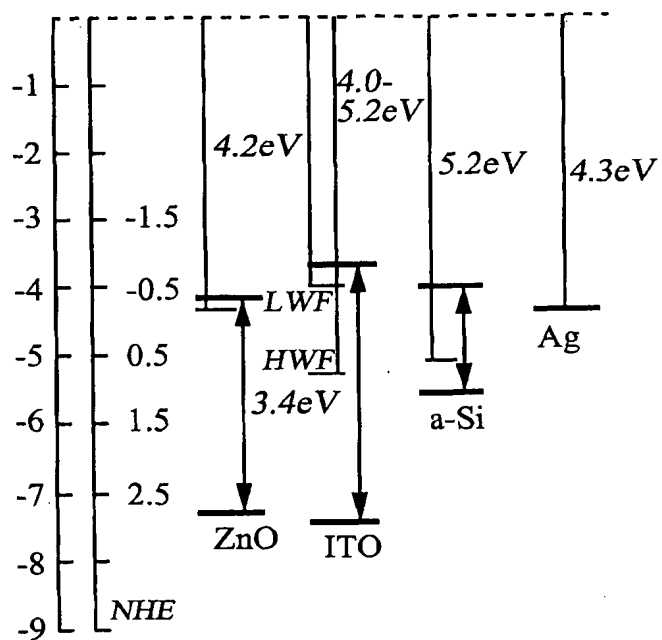


Fig. 3

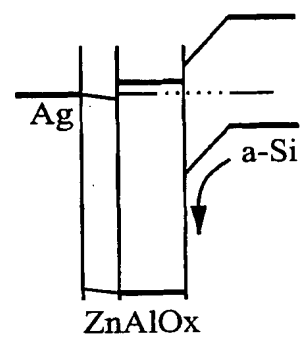


Fig. 4a

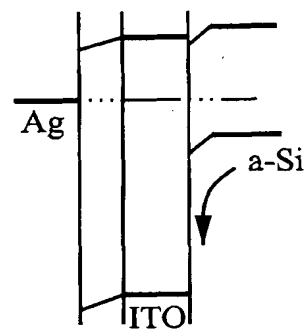


Fig. 4b

RESUMO

Patente de Invenção: **"ELETRODO FRONTAL COM UMA CAMADA DE FILME METÁLICO FINA E UMA CAMADA DE COMPENSAÇÃO DE ELEVADA FUNÇÃO DE TRABALHO PARA USO EM DISPOSITIVO FOTOVOLTAICO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DO MESMO"**.

A presente invenção refere-se a um contato ou eletrodo frontal para uso em um dispositivo eletrônico, tal como um dispositivo fotovoltaico. Em certas modalidades exemplificativas, o eletrodo frontal do dispositivo fotovoltaico inclui um filme metálico altamente condutor e uma camada de compensação fina de elevada função de trabalho. A camada de compensação de elevada função de trabalho está localizada entre o filme metálico e a camada semicondutora mais elevada, de modo a fornecer uma função de trabalho substancial que promove o ajuste entre o filme metálico e a camada semicondutora mais superior de elevada função de trabalho, reduzindo, deste modo, a potencial barreira para os buracos extraídos do dispositivo pelo contato/eletrodo frontal. Opcionalmente, uma camada, como um óxido condutor transparente (TCO) ou um dielétrico, pode ser fornecida entre o substrato vítreo frontal e o filme metálico.