



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

(21) **PI0619150-9 A2**

(22) Data de Depósito: 30/11/2006
(43) Data da Publicação: 20/09/2011
(RPI 2124)



(51) *Int.Cl.:*
H01L 31/0352

(54) **Título:** CÉLULA FOTOVOLTAICA

(30) **Prioridade Unionista:** 02/12/2005 EP 05 111611.9,
01/02/2006 US 60/763,916, 01/02/2006 US 60/763,916

(73) **Titular(es):** Helianthos, B.V.

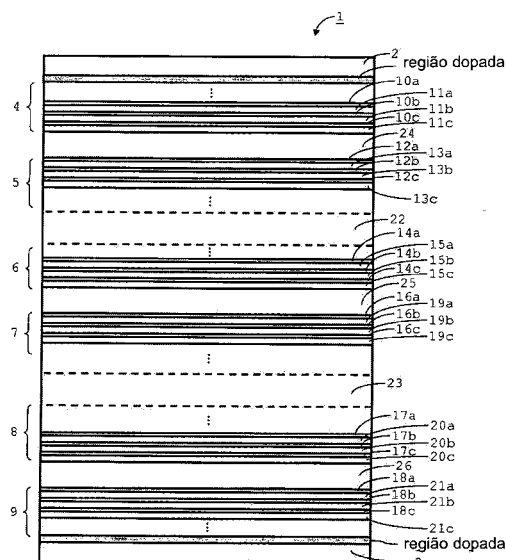
(72) **Inventor(es):** Gert Jan Jongerden, Miroslav Zeman

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

(86) **Pedido Internacional:** PCT EP2006069140 de
30/11/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/063102 de
07/06/2007

(57) **Resumo:** CÉLULA FOTO VOLTAICA. A invenção refere-se a uma célula fotovoltaica, incluindo pelo menos uma primeira junção entre um par de regiões semicondutoras (4 - 9). Pelo menos uma do par de regiões semicondutoras inclui pelo menos parte de um super-reticulado, que compreende um primeiro material disperso em conjunto com as formações de um segundo material. As formações são de dimensões substancialmente pequenas, de modo que o intervalo de faixa efetivo do super-reticulado é pelo menos parcialmente determinado pelas dimensões. Uma camada absorvente (24 - 26) é proporcionada entre as regiões semicondutoras, e a camada absorvente compreende um material para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados e é de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material. Pelo menos uma das faixas de energia efetivas do super-reticulado e um dos níveis de excitação do material da camada absorvente são selecionados de modo a ficarem equiparados a pelo menos dos níveis de excitação do material da camada absorvente e da faixa de energia efetiva do super-reticulado, respectivamente.





PI0619150-9

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**CÉLULA FOTOVOLTAICA**".

A presente invenção refere-se a uma célula fotovoltaica, incluindo pelo menos uma primeira junção entre um par de regiões semicondutoras, em que pelo menos uma do par de regiões semicondutoras inclui pelo menos parte de um super-reticulado, compreendendo um primeiro material disperso em conjunto com as formações de um segundo material, cujas formações são de dimensões substancialmente pequenas que o intervalo de faixa efetivo do super-reticulado é pelo menos parcialmente determinado pelas dimensões, em que uma camada absorvente é proporcionada entre as regiões semicondutoras, e em que a camada absorvente compreende um material para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados e é de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material.

A invenção também se refere a um processo de fabricação de uma rede de células fotovoltaicas.

A invenção também se refere a um dispositivo fotovoltaico, incluindo uma pluralidade de células fotovoltaicas.

Exemplos de tais célula fotovoltaica, processo e dispositivo fotovoltaico são conhecidos. A patente U.S. 4.718.947 descreve uma célula fotovoltaica p-i-n, compreendendo um substrato transparente feito de vidro ou plástico e revestido com uma camada de óxido condutor transparente. Uma camada p é formada na camada de óxido condutor, e uma camada intrínseca (camada i) é formada na camada p. Uma camada n é formada na camada i e uma camada de contato posterior metálica é formada na camada n. Super-reticulados são usados para formar a camada p e/ou a camada n, para diminuir a absorção nas camadas dopadas, sem diminuir a condutividade delas.

A patente U.S. 4.598.164 descreve uma célula solar em tandem, que inclui uma primeira região ativa incluindo um material super-reticulado, em que o intervalo de faixa tem um primeiro valor predeterminado, uma segunda região ativa incluindo um segundo material super-reticulado, em que o

intervalo de faixa tem um segundo valor predeterminado, e um meio para interligar eletricamente as primeira e segunda regiões ativas, de modo que a corrente possa escoar entre as primeira e segunda regiões ativas. O super-reticulado amorfo é um material multicamada, cujas camadas são folhas fi-
5 nas de material amorfo ligado tetraedricamente semiconductor ou isolante, em que o material é formado de elementos ligados tetraedricamente ou ligas contendo os ditos elementos ligados tetraedricamente. Cada camada tem menos que cerca de 1.500 Å de espessura.

Um problema dessa última célula é que, para torná-la suficien-
10 temente eficiente, deve compreender combinações de camadas excessivas de diferentes materiais semicondutores, que formam as regiões ativas. De outro modo, apenas uma pequena fração da luz incidente vai ser absorvida na região ativa formada por um super-reticulado. No entanto, a adição de camadas extras ao super-reticulado vai tornar a produção do dispositivo one-
15 rosa.

É um objetivo da invenção proporcionar uma célula fotovoltaica, um método e um dispositivo fotovoltaico, que proporcionam uma conversão relativamente eficiente de energia solar para um determinado esforço de fa-
bricação.

20 Esse objetivo é alcançado por meio da célula fotovoltaica, que é caracterizada pelo fato de que pelo menos uma das faixas de energia efeti-vas do super-reticulado e um dos níveis de excitação de energia do material da camada de absorção são selecionados para ser substancialmente iguais a pelo menos um do nível de excitação de energia do material da camada
25 absorvente e da ligação de energia efetiva do super-reticulado, respectiva-mente.

Em virtude de pelo menos uma primeira das regiões semicondu-
toras inclui pelo menos parte de um super-reticulado, a célula fotovoltaica pode ser produzida relativamente eficientemente. O intervalo de faixa efetivo
30 do super-reticulado pode ser sintonizada em uma faixa vantajosa do espec-tro solar. A desvantagem que as dimensões das formações de ambos os materiais devem ser suficientemente pequenas para proporcionar o super-

reticulado com um intervalo de faixa efetivo, diferente daquele de quaisquer materiais semicondutores nas camadas individuais do super-reticulado - e que muitas camadas devem ter usualmente que ser depositadas para construir uma célula fotovoltaica absorvendo radiação suficiente - é atenuada devido à presença da camada de material para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados. Os portadores eletrizados excitados são transferidos para o super-reticulado adjacente, melhorando, desse modo, a eficiência de conversão de energia solar.

Dentro de uma célula fotovoltaica, uma distinção pode ser feita entre as funções de absorção de radiação, para gerar portadores eletrizados excitados, separação subsequente dos portadores eletrizados de polaridade oposta (devido à presença de camadas dopadas dos tipo p e n, as cargas opostas são puxadas em um campo elétrico embutido nas direções opostas), transporte de portadores eletrizados e coleta dos portadores eletrizados separados e transportados. Uma vantagem da estrutura proposta é que uma separação das funções é obtida, e pode ser ainda otimizada. O material da camada absorvente, para absorção de radiação, pode ser selecionado especificamente para que tenha um alto coeficiente de absorção, enquanto que os primeiro e segundo materiais, formando o super-reticulado, bem como as dimensões das formações de ambos os materiais, são selecionados para proporcionar um intervalo de faixa efetivo desejado. O intervalo de faixa efetivo depende de ambas as composições química e/ou estrutural e das dimensões das formações de materiais no super-reticulado. Os níveis de excitação da camada absorvente, para absorção de radiação, que é homogênea para permitir a formação em uma etapa de processo, são independentes da espessura da camada. Apenas dependem da sua composição química e/ou da fase dos seus constituintes.

Quando o nível de excitação da sua camada absorvente, para absorção de radiação, corresponde substancialmente à condutora efetiva, a transferência de portadores eletrizados negativos é mais eficiente, menos energia é perdida por transferência, quando o nível corresponde, por exemplo, a dentro de 0,2 eV, particularmente, inferior a 0,1 eV da orla inferior da

faixa condutora efetiva. Quando o material da camada absorvente, para absorção de radiação, apresenta pelo menos um nível de energia estável correspondente substancialmente a uma faixa de valência efetiva de uma região semicondutora adjacente à camada absorvente, a transferência de portadores eletrizados positivos é mais eficiente. Menos energia é perdida por transferência, quando o nível corresponde, por exemplo, a dentro de 0,2 eV, particularmente, menos de 0,1 eV da orla superior da faixa de valência efetiva. Em outras palavras, a seleção de pelo menos uma das faixas efetivas do super-reticulado e um dos níveis de excitação do material da camada absorvente, para ficar substancialmente igual a pelo menos um do nível de excitação do material da camada absorvente e da faixa efetiva do super-reticulado, respectivamente, aumenta a eficiência da célula fotovoltaica. A região semicondutora, incluindo pelo menos parte do super-reticulado, funciona como uma camada de transporte seletiva em energia, para remover a camada absorvente gerada pelos portadores, para absorção de radiação.

Uma concretização compreende uma série de pares de regiões semicondutoras, separadas por junções e tendo intervalos de faixas efetivas diminuindo com cada par, em que pelo menos duas das regiões semicondutoras incluem um super-reticulado e uma camada absorvente adjacente de um material, para absorção de radiação de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados, de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material.

Desse modo, uma denominada célula em tandem ou célula multijunção é proporcionada. A vantagem dessa configuração é que pode ser usada para converter diferentes faixas do espectro solar em diferentes regiões, adaptada especificamente para as respectivas faixas. Isso diminui a termalização dos portadores eletrizados, isto é, a geração de calor quando um portador eletrizado for criado por absorção de um fóton tendo uma maior energia do que o intervalo de faixa efetiva da região na qual é absorvido. A presença, imediatamente adjacente dos sucessivos super-reticulados, de uma camada absorvente de um material, para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados, de uma espessura tal

que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material, garante que, tanto quanto possível, uma faixa de frequências é filtrada antes da radiação atingir uma região semicondutora seguinte na série.

Em uma concretização, cada super-reticulado compreende uma
5 combinação periodicamente repetitiva de camadas de diferentes materiais semicondutores, suficientemente finos para dotar o super-reticulado com um intervalo de faixa efetivo, diferente daquele de quaisquer materiais semicondutores nas camadas individuais do super-reticulado.

Comparada com as concretizações alternativas, tais como aque-
10 las com um super-reticulado de ponto quântico, essa concretização tem a vantagem de que uma rota de fabricação clara desses super-reticulados, em uma escala industrial, existe.

Em uma concretização, a camada absorvente é ensanduchada
entre as regiões semicondutoras, e as regiões semicondutoras têm diferen-
15 tes intervalos de faixa efetivos.

Essa concretização permite que os portadores eletrizados gera-
dos em ambos os lados da camada absorvente contribuam para a eficiência da célula fotovoltaica.

Em uma concretização, o material para absorção de radiação
20 compreende pelo menos um de um semiconductor direto, um material molecular orgânico, e um material compreendendo nanocristais.

O último tipo de material inclui materiais compreendendo estru-
turas multifase, consistindo, por exemplo, em uma matriz com partículas de
tamanhos de nanômetros posicionados regularmente no material. Nesses
25 materiais, a orla absorvente pode ser manipulada por alteração do tamanho das partículas e pode, portanto, ser igualada energeticamente ao intervalo de faixa efetivo do super-reticulado adjacente. Isso contribui para a produção de uma célula fotovoltaica relativamente eficiente. Os materiais moleculares orgânicos são mais facilmente adaptáveis para atingir a absorção em uma
30 faixa particular do espectro solar, bem como é mais fácil de adaptar-se para igualar a faixa condutora efetiva e/ou a faixa de valência de um super-reticulado particular.

Em uma concretização, o super-reticulado compreende uma combinação periodicamente repetitiva de camadas de diferentes materiais semicondutores.

5 O efeito é substancialmente para evitar qualquer tensão, devido ao desequilíbrio de impedância de rede. Por essa razão, as camadas de materiais semicondutores amorfos são mais fáceis de atacar.

Em uma concretização, o super-reticulado compreende uma combinação periodicamente repetitiva de camadas de materiais semicondutores hidrogenados.

10 O efeito é passivar os defeitos de coordenação.

De acordo com um outro aspecto, o processo de fabricação de uma rede de células fotovoltaicas inclui a deposição de camadas de material em um comprimento de folha, e padronização de pelo menos uma das camadas, para formar uma rede de células fotovoltaicas, em que uma rede de
15 células de acordo com a invenção é formada.

Devido à configuração das células fotovoltaicas, menos camadas de material precisam ser depositadas, resultando em economias substanciais no esforço de fabricação.

De preferência, as camadas são depositadas em pelo menos
20 uma estação em uma linha de produção, em que um comprimento quase-contínuo de folha é avançada depois de cada estação.

Esse é um modo vantajoso de fabricação de redes de células fotovoltaicas, uma vez que a rede desejada pode ser cortada da folha. Além do mais, um condicionamento em câmara intenso em tempo é evitado, e o
25 tempo de troca entre as deposições de camadas ou de material é eliminado do tempo total de fabricação da rede.

De acordo com um outro aspecto, o dispositivo fotovoltaico de acordo com a invenção inclui uma pluralidade de células fotovoltaicas de acordo com a invenção.

30 O dispositivo é relativamente de fácil fabricação, bem como apresenta uma boa eficiência de conversão de energia.

A invenção vai ser descrita a seguir em mais detalhes, com refe-

rência aos desenhos em anexo, nos quais:

a figura 1 mostra esquematicamente a construção de um exemplo de uma célula fotovoltaica, fora de escala;

a figura 2 mostra um diagrama de energia de uma variante da
5 célula fotovoltaica;

a figura 3 mostra um diagrama de energia de uma outra variante da célula fotovoltaica; e

a figura 4 mostra esquematicamente uma linha de produção para a fabricação de redes de células fotovoltaicas.

10 Uma célula fotovoltaica 1 é mostrada na figura 1 apenas com o intuito de necessidade de ilustrar a invenção. Em um dispositivo fotovoltaico efetivo, a célula fotovoltaica 2 vai ser encapsulada em outras camadas, incluindo uma ou mais camadas de folha plástica, para selar a célula fotovoltaica do meio ambiente e/ou de folhas de vidro. Na concretização ilustrada, a
15 célula fotovoltaica 1 é uma célula em tandem, isto é, uma pilha de células componentes. Nesse caso, as células individuais na pilha são ligadas eletricamente em série. A conexão paralela é uma alternativa, mas mais complicada.

A célula fotovoltaica 1 ilustrada é um dispositivo de dois terminais e inclui um eletrodo de topo 2 e um eletrodo posterior 3. O eletrodo de
20 topo é feito de um material condutor transparente, por exemplo, SnO_2 (óxido de estanho), ITO (óxido de índio e estanho), ZnO (óxido de zinco), Zn_2SnO_4 (estanato de zinco), Cd_2SnO_4 (estanato de cádmio) ou InTiO (óxido de índio e titânio). O eletrodo posterior 3 feito, pelo menos parcialmente, de um metal, tal como Al (alumínio) ou Ag (prata), uma liga metálica ou um material
25 condutor transparente. Em uma concretização, o eletrodo posterior 3 é feito de uma combinação de um metal e um material condutor transparente, o primeiro sendo situado voltado para a parte externa da célula fotovoltaica 1.

A célula fotovoltaica 1, na concretização da figura 1, compreende as regiões semicondutoras 4 - 9. Em outras concretizações, pode haver
30 menos ou mais dessas regiões. De cada par de regiões semicondutoras, um funciona como uma região de transporte eficiente e a outra é disposta para

funcionar como uma região de transporte eficiente para vazios móveis.

Na concretização da figura 1, cada uma das regiões semicondutoras 4 - 9 compreende um super-reticulado. Os semicondutores baseados em super-reticulados são conhecidos na técnica. No presente texto, o termo
5 super-reticulado vai ser usado para denotar ambas as variantes conhecidas: aquelas compreendendo camadas de um primeiro material, dispersas em conjunto com as camadas de um segundo material, ambos sendo suficientemente finos para afetar o intervalo de faixa, e aquelas nas quais nanocristais são formados de uma camada semicondutora, em que o tamanho dos
10 nanocristais, ou pontos quânticos, afeta o intervalo de faixa efetivo do super-reticulado. Um exemplo desse último tipo de super-reticulado é mostrado mais inteiramente por Green, M. A., "Silicon nanostructures for all-silicon tandem solar cells", "19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition", Paris, 7 - 11 de junho de 2004. Os super-reticulados do tipo
15 estratificado são compreendidos na camada absorvente aqui descrita em mais detalhes.

Os super-reticulados estratificados compreendem uma combinação periodicamente repetitiva de uma camada de um material semicondutor de baixo intervalo de faixa, chamado o poço, com uma camada de um mate-
20 rial de amplo intervalo de faixa, chamado a barreira. Desse modo, na figura 1, uma primeira região semicondutora 4 inclui uma combinação repetitiva de camadas barreira primárias 10a - 10c e camadas poço primárias 11a - 11c. Uma segunda região semicondutora 5 inclui uma combinação repetitiva de camadas barreira secundárias 12a - 12c e camadas poço secundárias 13a -
25 13c, enquanto que uma terceira região semicondutora 6 inclui uma combinação repetitiva de camadas barreira terciárias 14a - 14c e camadas poço terciárias 15a - 15c. As quarta, quinta e sexta regiões semicondutoras 7 - 9 incluem as quarta, quinta e sexta camadas barreira 16a - 16c, 17a - 17c e 18a - 18c, respectivamente, alternando-se com as quarta, quinta e sexta cama-
30 das poço 19a - 19b, 20a - 20c e 21a - 21c, respectivamente. Os valores da espessura das camadas 10 - 21 se mantêm na faixa de 1 - 2 nm, pelo menos abaixo de 10 nm. Cada uma das regiões semicondutoras 4 - 9 tem uma

espessura total da ordem de 100 nm, pelo menos abaixo de 200 nm.

As camadas 10 - 21 do presente exemplo são feitas de materiais semicondutores amorfos hidrogenados ou fluorados. Os exemplos adequados incluem silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), silício - germânio amorfo hidrogenado (a-SiGe:H), carboneto de silício amorfo hidrogenado (a-SiC:H), nitreto de silício amorfo hidrogenado (a-SiN:H) e óxido de silício amorfo hidrogenado (a-SiO:H). O intervalo de faixa de a-Si:H depende das condições de deposição e varia de 1,6 eV a 1,9 eV. Ligando-se a-Si:H com carbono, oxigênio ou nitrogênio se amplia o intervalo de faixa das ligas, enquanto que incorporando-se germânio, se baixa o intervalo de faixa. Os meios físicos adequados podem ser produzidos por uso de a-Si:H e a-SiGe:H, como o material para os poços, isto é, as camadas poço 11, 13, 15, 19, 21, e usando-se a-SiC:H, a-SiN:H ou a-SiO:H, como o material para as barreiras, isto é, as camadas barreira 10, 12, 14, 16, 18. A estrutura não periódica de camadas baseadas em a-Si:H e a capacidade do hidrogênio de passivar os defeitos de coordenação eliminam os requisitos rigorosos para igualar as redes que aplicam os super-reticulados cristalinos.

Para formar esses super-reticulados, uma ou mais de várias técnicas podem ser usadas. Essas técnicas incluem deposição química de vapor, (co-)sublimação catódica reativa, (co-)evaporação reativa, etc. Para fabricar o exemplo ilustrado, uma técnica vantajosa é a de Deposição Química de Vapor Acentuada por Plasma (PSCVD). Essa técnica é vantajosa porque a formação de liga de a-Si:H pode ser feita facilmente por adição de gases adequados à fonte portadora de silício, tal como silano. Demonstrou-se que podem ser fabricados super-reticulados, que não são de mesmo retículo cristalino nem epitaxiais, ainda com interfaces que são essencialmente livres de defeitos e quase que atômicamente vivos.

As regiões semicondutoras adjacentes 4 - 9 de diferentes pares são separados por junções recombinantes de túneis 22, 23, que incluem regiões do tipo N e do tipo P. As junções recombinantes de túneis 22, 23 proporcionam uma conexão em série interna, em que ocorre a recombinação de portadores eletrizados de carga oposta chegando dos pares adjacentes de

regiões semicondutoras. A formação de túneis por meio dos portadores pelas camadas, formando a junção recombinante de túneis, facilita essa recombinação. A recombinação efetiva dos portadores fotogerados ocorre pelos estados de defeito no centro da junção mantém a corrente escoando pela
 5 célula solar.

De cada par de regiões semicondutoras, uma é disposta para funcionar como uma região de transporte eficiente para vazios móveis, e a outra como uma região de transporte eficiente para elétrons. Na concretização ilustrada da figura 1, os super-reticulados são presos em uma região
 10 semicondutora do tipo N e uma região semicondutora do tipo P, isto é, as regiões semicondutoras dopadas que formam uma parte das junções recombinantes de túneis 22, 23. Deve-se notar que as regiões dopadas também podem compreender super-reticulados.

Como é bem-conhecido, a carga espacial nos semicondutores
 15 dopados diferentemente, gerados devido à difusão para fora da maior parte dos portadores eletrizados a partir das camadas dopadas, origina um campo elétrico interno. Isso provoca uma separação de portadores eletrizados móveis criados por excitação. A combinação das primeira e segunda regiões semicondutoras 4, 5 converte energia solar em uma primeira faixa do espectro solar, a combinação das terceira e quarta regiões semicondutoras 6, 7
 20 converte uma segunda região diferente, mas possivelmente sobreposta do espectro solar, e a combinação das quinta e sexta regiões semicondutoras 8, 9 ainda uma outra faixa. As junções recombinantes de túneis 22, 23 garantem que os três pares de regiões semicondutoras são conectados eletricamente em série.
 25

As regiões semicondutoras 4 - 9 têm intervalos de faixas efetivos progressivamente decrescentes. Desse modo, uma primeira e uma segunda regiões semicondutoras 4, 5 têm um maior intervalo de faixa efetivo, de modo a capturar fótons em uma faixa (de frequências) maior do espectro solar.
 30 As regiões semicondutoras intermediárias 6, 7 têm um intervalo de faixa efetivo em uma faixa intermediária do espectro solar. As regiões semicondutoras de topo 4, 5 são situadas mais próximas ao eletrodo de topo 2. O eletro-

do de topo 2 é exposto à luz entrante, em uso, que desse modo passa pelas regiões semicondutoras 4 - 9, para diminuir o intervalo de faixa efetivo. Essa configuração proporciona eficiência de conversão de energia solar, devido à eliminação da termalização de portadores eletrizados.

5 Em consequência da incorporação das respectivas primeira, segunda e terceira camadas absorventes 24 - 26 dos materiais, para absorção de radiação entre os pares de regiões semicondutoras de topo, intermediários e inferiores 4 - 9, a absorção de radiação incidente é largamente creditada às camadas absorventes. Conseqüentemente, a espessura das regiões
10 semicondutoras pode ser limitada por redução da quantidade das camadas poço e camadas barreira, o que é vantajoso de uma perspectiva de fabricação. As camadas absorventes 24 - 26 dos materiais para absorção de radiação se unem aos respectivos super-reticulados, formando um par. São de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelas suas
15 composições. Os valores adequados para a espessura são em uma faixa de cerca de 50 nm, de preferência, em uma faixa em torno de 10 nm.

As camadas absorventes 24 - 26 podem compreender um material semiconductor direto. Esse material tem um coeficiente de absorção relativamente alto de 10^4 a 10^6 cm^{-1} , de modo que as camadas absorventes 24 -
20 26 possam ser mantidas finas. Por exemplo, CdS com um intervalo de faixa de 2,45 eV tem o coeficiente de absorção de 500 nm em torno de 10^5 , $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{Se,S})_2$, cujo intervalo de faixa pode ser variado em uma ampla faixa de 1,0 a 1,7 eV, tendo nessa faixa de energia um coeficiente de absorção entre 10^4 e 10^5 cm^{-1} . A absorção envolve a excitação de elétrons da
25 faixa de valência para a de condução. Os coeficientes de absorção relativamente altos também caracterizam uma alternativa, isto é, os materiais moleculares orgânicos. Esses materiais são usados no exemplo descrito no presente relatório. Nos materiais moleculares orgânicos, os portadores eletrizados excitados são comumente referidos como agentes de excitação. Os
30 materiais moleculares orgânicos incluem porfirinas e ftalocianinas. Essas têm faixas de absorção estreitas em torno das frequências correspondentes a um nível de energia de fóton de cerca de 2,9 eV e 1,77 eV, respectivamente. As

moléculas de ftalocianina são, em particular, quimicamente muito estáveis e podem ser depositadas por evaporação a vácuo. Os níveis de excitação dos materiais nas camadas absorventes 24 - 26 são selecionados para permitir que eles fiquem iguais às faixas efetivas dos super-reticulados adjacentes.

- 5 Como os intervalos de faixa desses podem ser tratados por técnicas de engenharia pelas dimensões das camadas finas 10 - 21, essa equiparação pode ser obtida com um grau relativamente alto de precisão.

Os portadores eletrizados nas camadas absorventes 24 - 26 são excitados a um nível, ou acima, do limite inferior da faixa de condução efetiva dos super-reticulados adjacentes. Isso permite a transferência de portadores eletrizados para o super-reticulado com uma eficiência relativamente alta. A eficiência é alta devido às baixas perdas de termalização, que acontecem quando os portadores eletrizados são transferidos para a faixa de condução. A equiparação é preferivelmente precisa a um valor na faixa de 10 um décimo de elétron-volt, por exemplo, 0,1 ou 0,2 eV. Em um material molecular, os portadores eletrizados são excitados ao Orbital Molecular Desocupado Mais Baixo (LUMO), que desse modo se equipara ao limite inferior da faixa de condução efetiva do super-reticulado adjacente. De preferência, o estado do qual o portador eletrizado é excitado - esse estado é chamado 15 Orbital Molecular Ocupado Mais Alto (SOMO) em um material molecular para radiação absorvente - é igualado à faixa de valência efetiva, pelo menos o seu limite superior, com o mesmo grau de precisão.

A figura 2 ilustra o conceito geral da célula fotovoltaica 1 por meio de um diagrama de energia. As primeira e segunda camadas absorventes 27, 28 juntam das partes dos super-reticulados 29 - 32. Os super-reticulados 29 - 32 têm substancialmente as propriedades dos materiais semicondutores intrínsecos. Formam as camadas de transporte seletivas de energia, tendo uma faixa de condução ou valência substancialmente igual ao nível estável ou de excitação da camada absorvente 27, 28 adjacente. De fato, como ilustrado na figura 2, as faixas de condução dos super-reticulados 30, 32 ficam ligeiramente abaixo dos níveis de excitação das camadas absorventes 27, 28 adjacentes, enquanto que as faixas de valência dos super- 30

reticulados 29, 31 ficam ligeiramente acima dos níveis estáveis das camadas absorventes 27, 28 adjacentes.

As partes de um super-reticulado 30 adjacentes à primeira camada absorvente 27 de um super-reticulado 31, adjacente à segunda camada absorvente 28, formam regiões semicondutoras tendo diferentes intervalos de faixa efetivos. Se uma parte de um dos super-reticulados 29 - 32 funciona como um transporte efetivo de elétrons ou vazios móveis, é determinada pela natureza da região semicondutora adjacente de uma das três junções de recombinação de túneis 33 - 35. Cada uma das junções de recombinação de túneis 33 - 35 compreende um par de camadas semicondutoras, uma das quais é dopada para torná-la uma camada semicondutora do tipo P, o outro para torná-la uma camada semicondutora do tipo N. A função das junções de recombinação de túneis é proporcionar uma conexão em série entre os respectivos super-reticulados 29 - 32, com as camadas absorventes 27, 28 integradas, e ajustar o campo elétrico interno dentro da região ativa da célula fotovoltaica 1.

A figura 3 ilustra uma variante do conceito geral da figura 2 da célula fotovoltaica 1 por meio de um diagrama de energia. De novo, as primeira e segunda camadas absorventes 27, 28 juntam partes dos super-reticulados 29 - 32. No entanto, os super-reticulados 29 - 32 de um único par são diferentes na concretização da figura 3. Os super-reticulados 29 - 32 são selecionados para que sejam diferentes intervalos de faixa efetivos dentro de um par. Os intervalos de faixa são tratados por engenharia de modo que os portadores eletrizados negativos, excitados no super-reticulado 29, sejam forçados na direção da junção recombinante de túneis 34, enquanto que os portadores eletrizados positivos, excitados no super-reticulado 30, são acionados na direção da junção recombinante de túneis 33.

A figura 4 mostra uma linha de produção 36 para fabricação de uma rede de células solares, com a configuração da célula solar 1, que foi descrita. A linha de produção 36 compreende, no exemplo, duas estações 37 - 38, depois das quais um comprimento de folha é avançada. A rede de células solares é formada na folha, na medida em que ela é transferida de

um primeiro rolo 39 para um segundo rolo 40. As duas estações 37, 38 são apenas exemplificativos, pois pode haver mais delas. Em particular, quando PEVCD é usada, as células solares podem ser produzidas muito eficientemente, por formação das camadas 10 - 21, 24 - 26 sucessivamente em uma ou mais estações 37, 38, que são posicionadas ao longo da rota da folha. A padronização, usando uma técnica a laser ou outra de corte, é aplicada para formar as células individuais. Devido ao uso dos primeiro e segundo rolos 38, 39, uma produção quase-contínua, limitada basicamente pelo diâmetro máximo praticável dos rolos 39, 40, é propiciada. As redes de um tamanho adequado podem ser formadas do comprimento da folha, após processamento posterior, tal como aplicação de camadas protetoras plásticas, a remoção de uma camada de apoio, etc. A rede é então incorporada em um dispositivo fotovoltaico, incluindo conectores e conjunto de circuitos adicional opcional adequados. O uso de unidades de materiais absorventes seletivos de espectro, em conjunto com os super-reticulados, com intervalos de faixa efetivos tratados por engenharia para que fiquem iguais às faixas de absorção do material, especialmente em uma configuração de célula em tandem, torna o dispositivo fotovoltaico eficiente e relativamente descomplicado para ser produzido.

A invenção não é limitada às concretizações descritas acima, que podem ser variadas dentro do âmbito das reivindicações em anexo. Por exemplo, as faixas de absorção dos materiais, para absorção de radiação, podem se sobrepor parcialmente. Também, são possíveis as concretizações nas quais uma de cada par de regiões semicondutoras, adjacente à camada para absorção de radiação seletiva de espectro, é feita de um material semicondutor direto ou indireto, inorgânico em vez de compreender um super-reticulado. Além do mais, os pares de regiões semicondutoras, que formam uma célula de junção múltipla, podem ser separados do material semicondutor inorgânico, ou essa camada pode ser proporcionada entre um eletrodo e um super-reticulado.

REIVINDICAÇÕES

1. Célula fotovoltaica, incluindo pelo menos uma primeira junção entre um par de regiões semicondutoras (4 - 9), em que pelo menos uma do par de regiões semicondutoras inclui pelo menos parte de um super-reticulado, compreendendo um primeiro material disperso em conjunto com as formações de um segundo material, cujas formações são de dimensões substancialmente pequenas que o intervalo de faixa efetivo entre as faixas de energia efetivas do super-reticulado é determinado, pelo menos parcialmente, pelas dimensões, em que uma camada absorvente (24 - 26) é proporcionada entre as regiões semicondutoras, e em que a camada absorvente compreende um material para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados e é de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material, caracterizada pelo fato de que pelo menos uma das faixas de energia efetivas do super-reticulado e um dos níveis de excitação do material da camada absorvente são selecionados para que sejam iguais a pelo menos um dos níveis de excitação do material da camada absorvente e a faixa de energia efetiva do super-reticulado, respectivamente.

2. Célula fotovoltaica de acordo com a reivindicação 1, compreendendo uma série de pares de regiões semicondutoras (4 - 9), separados por junções e tendo intervalos de faixa efetivos diminuindo com cada par, em que pelo menos duas das regiões semicondutoras (4 - 9) incluem um super-reticulado e uma camada adjacente (24 - 26) de um material para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados, de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material.

3. Célula fotovoltaica de acordo com a reivindicação 1 ou 2, na qual cada super-reticulado compreende uma combinação periodicamente repetitiva de camadas (10 - 21), de diferentes materiais semicondutores, suficientemente fina para dotar o super-reticulado com um intervalo de faixa efetivo, diferente daquele de quaisquer materiais semicondutores nas camadas individuais do super-reticulado.

4. Célula fotovoltaica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, na qual o super-reticulado é compreendido de materiais semicondutores intrínsecos, e a célula fotovoltaica compreende ainda pelo menos um par de regiões semicondutoras do tipo N e do tipo P, dispostas para originar um campo elétrico interno dentro da célula fotovoltaica 1.

5. Célula fotovoltaica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, na qual a camada absorvente é ensanduichada entre as ditas regiões semicondutoras, e as ditas regiões semicondutoras têm diferentes intervalos de faixa efetivos.

10 6. Célula fotovoltaica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, na qual o material para absorção de radiação compreende pelo menos um de um semicondutor, um material molecular orgânico e um material compreendendo nanocristais.

15 7. Célula fotovoltaica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, na qual o super-reticulado compreende uma combinação periodicamente repetitiva de camadas (10 - 21) de diferentes materiais semicondutores amorfos.

20 8. Célula fotovoltaica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, na qual o super-reticulado compreende uma combinação periodicamente repetitiva de camadas (10 - 21) de diferentes materiais semicondutores amorfos de materiais semicondutores hidrogenados.

25 9. Processo de fabricação de uma rede de células fotovoltaicas, incluindo a deposição de camadas (10 - 26) de material em um comprimento de folha, e padronização de pelo menos algumas das camadas, para formar uma rede de células fotovoltaicas (1), em que uma rede de células de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 8 é formada.

30 10. Processo de acordo com a reivindicação 9, no qual as camadas são depositadas em pelo menos uma estação (19, 20), em uma linha de produção (18), no qual um comprimento quase-contínuo de folha é avançado depois de cada estação (19, 20).

11. Dispositivo fotovoltaico incluindo uma pluralidade de células fotovoltaicas (1) como definidas em qualquer uma das reivindicações de 1 a 8.

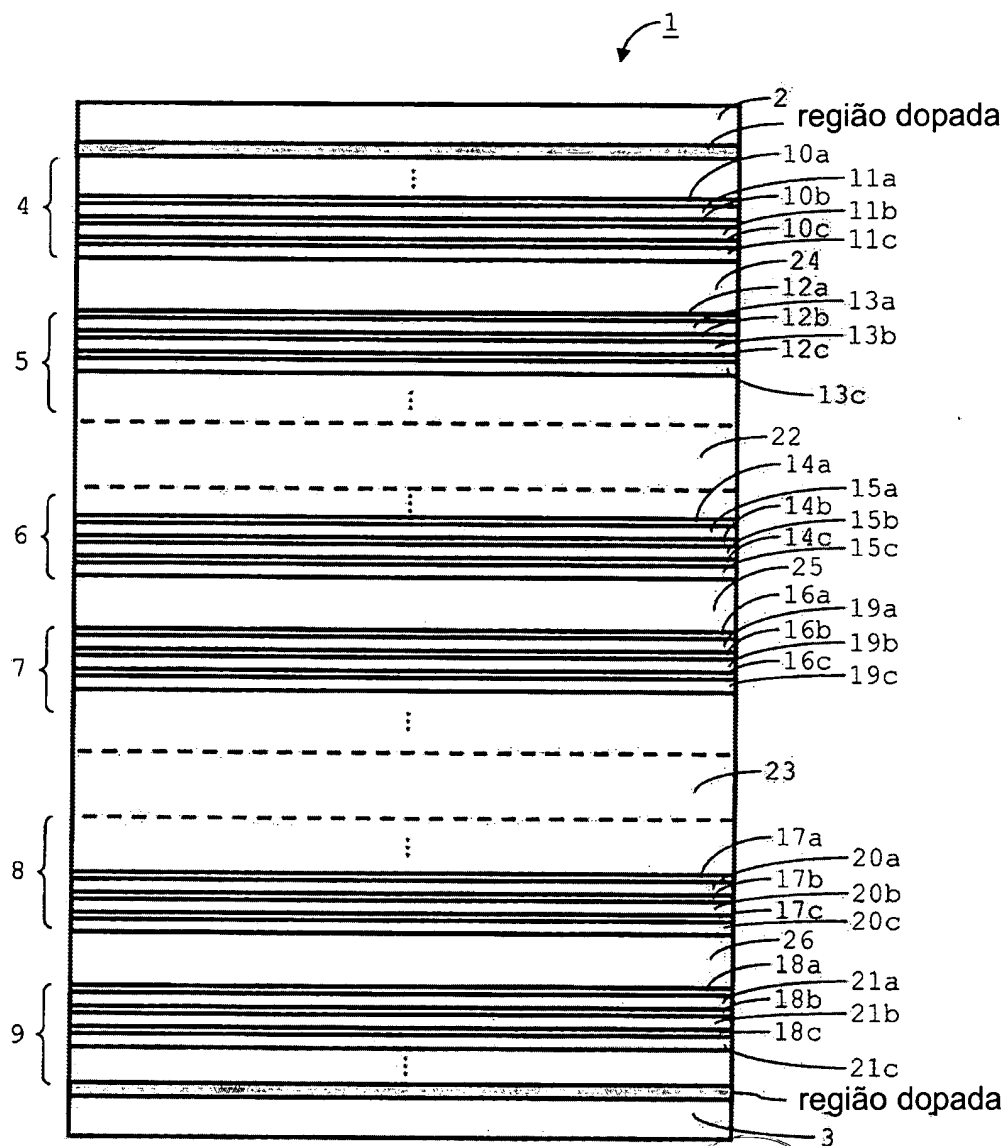


Fig. 1

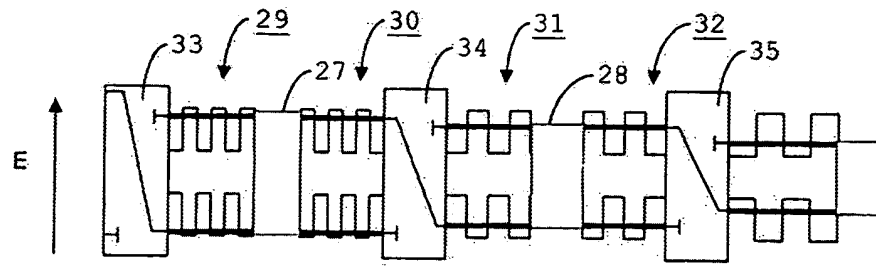


Fig. 2

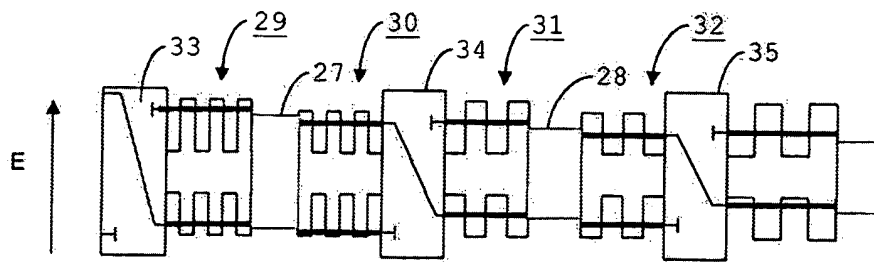


Fig. 3

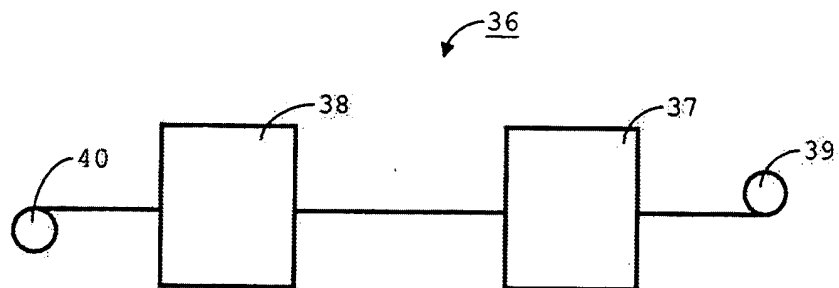


Fig. 4

RESUMO

Patente de Invenção: "**CÉLULA FOTOVOLTAICA**".

A invenção refere-se a uma célula fotovoltaica, incluindo pelo menos uma primeira junção entre um par de regiões semicondutoras (4 - 9).

- 5 Pelo menos uma do par de regiões semicondutoras inclui pelo menos parte de um super-reticulado, que compreende um primeiro material disperso em conjunto com as formações de um segundo material. As formações são de dimensões substancialmente pequenas, de modo que o intervalo de faixa efetivo do super-reticulado é pelo menos parcialmente determinado pelas
- 10 dimensões. Uma camada absorvente (24 - 26) é proporcionada entre as regiões semicondutoras, e a camada absorvente compreende um material para absorção de radiação, de modo a resultar na excitação de portadores eletrizados e é de uma espessura tal que os níveis de excitação são determinados pelo próprio material. Pelo menos uma das faixas de energia efetivas do
- 15 super-reticulado e um dos níveis de excitação do material da camada absorvente são selecionados de modo a ficarem equiparados a pelo menos dos níveis de excitação do material da camada absorvente e da faixa de energia efetiva do super-reticulado, respectivamente.