



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0922748-2 B1



(22) Data do Depósito: 03/12/2009

(45) Data de Concessão: 02/07/2019

(54) Título: MÓDULO FOTOVOLTAICO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

(51) Int.Cl.: H01L 31/0224; H01L 31/18.

(30) Prioridade Unionista: 03/12/2008 FR 0858237.

(73) Titular(es): ECOLE POLYTECHNIQUE; CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE; TOTAL MARKETING SERVICES SA.

(72) Inventor(es): ERIK V. JONHSON; PERE ROCA I CABARROCAS.

(86) Pedido PCT: PCT FR2009052400 de 03/12/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/063970 de 10/06/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 03/06/2011

(57) Resumo: MÓDULO FOTOVOLTAICO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO A invenção refere-se a um módulo fotovoltaico (1) compreendendo pelo menos duas células fotovoltaicas (7, 7) em série, cada célula (7, 7) retangular compreendendo respectivamente um primeiro eletrodo traseiro de camada fina (5, 5), um empilhamento fotovoltaico de pelo menos dois materiais ativos (3) compreendidos entre o eletrodo traseiro (5) e um eletrodo transparente condutor (TC) de camada fina (4), o referido eletrodo TC (4, 4') sendo apto a coletar e transmitir uma corrente elétrica (10, 10) gerada pelo empilhamento fotovoltaico (3, 3), as duas células fotovoltaicas (7, 7) sendo ligadas eletricamente em série por uma tira de contato elétrico (6) compreendida entre o eletrodo TC (4) da primeira célula (7) e o eletrodo traseiro (5) da segunda célula (7). De acordo com a invenção, a espessura local (e) do eletrodo TC (4) da célula (7) varia em função da distância para a tira de contato elétrico (6). A invenção refere-se igualmente a processos de depósito e gravura química da camada transparente condutora (TC) para fabricar simultaneamente várias células (7, 7, 7") de um mesmo módulo (1).

“MÓDULO FOTOVOLTAICO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO”

[0001] A invenção refere-se ao domínio técnico DAS células fotovoltaicas e mais particularmente ao dos eletrodos transparentes que são um elemento necessário destas células fotovoltaicas.

[0002] As células fotovoltaicas conhecem um interesse crescente com a melhoria do seu rendimento energético. Estas células fotovoltaicas são baseadas na utilização de um empilhamento fotovoltaico de materiais ativos, que absorve uma energia óptica, por exemplo, solar, e converte a mesma em corrente elétrica proveniente de uma diferença de potencial eletroquímico entre as camadas ativas. O empilhamento fotovoltaico pode ser formado no interior de um material maciço (placa de silício cristalino ou policristalina) ou graças a materiais depositados em camadas finas sobre um substrato. A diferença de potencial pode provir de uma dopagem de um material ou a utilização de diferentes materiais. Uma célula fotovoltaica compreende também eletrodos dos dois lados do empilhamento fotovoltaico para coletar a corrente elétrica assim gerada e transportá-la lateralmente às bordas da célula. Um módulo fotovoltaico é formado ligando várias células fotovoltaicas em série e/ou em paralelo.

[0003] Os eletrodos metálicos são geralmente opacos a luz visível. Contudo, foram desenvolvidos eletrodos ao mesmo tempo transparentes e condutores, que podem ser colocados sobre a superfície exposta à radiação óptica de um empilhamento fotovoltaico. Para as células de material maciço, a camada dopada defronte da fonte de iluminação (na sequência deste documento esta camada é chamada “o emissor”) pode ser suficientemente condutora -, por exemplo, se ela for fabricada de um material maciço dopado - para transportar os portadores de carga lateralmente sobre distâncias da ordem do milímetro. Depois, uma grade metálica com aberturas é utilizada para transportar a corrente sobre o trajeto restante até as bordas da célula. Frequentemente, para as camadas finas, a camada ativa dopada não é suficientemente condutora para efetuar este transporte eficazmente e outro material de eletrodo ao mesmo tempo transparente e condutor é necessário. Os

materiais utilizados para estes eletrodos transparentes são em particular óxidos metálicos (TCO para Transparent Conductive Oxides) que são tipicamente óxidos metálicos dopados por um outro elemento, como o óxido de estanho dopado com fluor ($\text{SnO}_2\text{: F}$), ou o óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO: Al). Outro TCO correntemente utilizado é o óxido de índio e de estanho (ITO para Indium tin oxide), que é altamente condutor e tem uma baixa aspereza de superfície o que o torna interessante para as telas planas. Esta baixa aspereza de superfície torna o ITO mais interessante para as células fotovoltaicas de tipo "superestrato", onde a luz incidente atravessa um substrato de suporte antes de entrar na célula. Com efeito, uma aspereza de superfície na interface entre a camada ativa e o eletrodo dianteiro é procurada a fim de melhorar a difusão dos fótons incidentes no interior do material fotovoltaico, e assim melhorar a sua absorção. As camadas finas ativas depositadas a partir de precursores em fase gasosa depositam-se de modo conforme a topologia do substrato. A aspereza procurada deve, por conseguinte, provir do substrato ou do TCO. A utilização de um TCO liso nesta situação é apenas prática se o substrato já for texturizado. Em contrapartida, o óxido de estanho dopado com flúor ($\text{SnO}_2\text{: F}$) dá um depósito texturizado. O óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO: Al) é áspero quando ele é depositado por depósito químico em fase vapor a baixa pressão (LPCVD), e liso quando ele é depositado por pulverização, mas a sua aspereza pode ser aumentada por um tratamento químico ex situ.

[0004] Para as células fotovoltaicas obtidas por empilhamento de camadas finas, existem dois tipos de estruturas. De acordo com um primeiro tipo de estrutura, de tipo "superestrato", um substrato transparente serve de janela para a célula fotovoltaica. Neste caso, um eletrodo transparente é depositado sob a forma de camada fina de óxido transparente condutor (OTC) sobre o substrato transparente (placa de vidro, por exemplo). O empilhamento fotovoltaico e o eletrodo traseiro são depositados depois sucessivamente de acordo com os processos conhecidos de depósito. De acordo com um segundo tipo de estrutura, de tipo "substrato", um eletrodo metálico é depositado sobre um substrato (não necessariamente transparente), depois as camadas finas de materiais fotovoltaicos são depositadas

pela parte superior, e por último um eletrodo transparente é depositado em cima do empilhamento fotovoltaico. A célula assim formada é depois encapsulada.

[0005] Nas células fotovoltaicas à base de material fotovoltaico maciço, este material serve de substrato, um eletrodo metálico é depositado sobre a face traseira do material, e o emissor sobre a face dianteira (produto por difusão térmica de um dopante ou por implante iônico) participa no transporte lateral dos portadores. Uma grade metálica é depositada a fim de completar o circuito condutor para os portadores até aos eletrodos externos. As células "HIT - Heterojunction with Intrinsic Thin Layer" representam um caso particular, porque utilizam um material maciço, mas as camadas dopadas são depositadas a partir de precursores em fase gasosa e não são suficientemente condutoras. Este tipo de célula deve, portanto, utilizar uma camada TCO para o transporte lateral dos portadores, como no caso das células à base de camadas finas depositadas sobre um substrato. Além disso, as células de silício maciço podem também utilizar uma camada de TCO como camada anti-reflexo.

[0006] Para entrar em uma célula fotovoltaica, independentemente do tipo de célula utilizada, a luz atravessa uma janela que deve preencher duas funções: ela deve ser tão transparente como possível para permitir a um fluxo máximo de luz atravessar a mesma, e deve também ser tão condutora como possível para minimizar as perdas ôhmicas quando a foto corrente é coletada. No entanto, os eletrodos transparentes apresentam propriedades elétricas inferiores às dos eletrodos metálicos.

[0007] A fim de melhorar a coleta de corrente por um eletrodo transparente, certos dispositivos utilizam uma janela compreendendo uma camada fina de um de óxido transparente condutor (TCO), utilizada quer sozinho quer combinado com uma grade metálica. A utilização de tal grade metálica, por exemplo, é descrita no documento de patente CA1244120. Nos locais da célula que se aproximam da conexão onde a corrente será extraída eventualmente, a superfície ocupada pelos dedos da grade aumenta: os dedos estão mais próximos um dos outros e/ou são mais largos. A superfície ocupada pelos dedos da grade torna-se maior, e, portanto,

mais a superfície da célula é mascarada pelos dedos, não obstante o aumento obtido na condutividade lateral ser claramente vantajoso para o rendimento da célula.

[0008] Para as células em camadas finas, é corrente utilizar apenas uma camada de TCO sem grade metálica. Os materiais TCO correntemente utilizados e as suas espessuras respectivas são, por exemplo: SnO_2 : F (800nm), ZnO : Al (600nm) e ITO (200nm). ZnO : Al é utilizado preferivelmente em aplicações onde a camada fina fotovoltaica é depositada na parte superior da camada de TCO em condições ricas em hidrogênio, porque esta camada de TCO sozinha é resistente à redução pelo hidrogênio atômico gerado no plasma durante o depósito. No entanto, a absorção na camada de ZnO : Al aumenta nos grandes comprimentos de onda com uma taxa de dopagem crescente, como descrito por Berginski et al (SPIE Photonics 2006), de modo que as tensões de baixa absorção e de fraca resistividade são opostas, a nível das próprias propriedades do material. Esta tensão acrescenta-se à tensão evidente ligada ao fato de que uma camada mais espessa tem uma condução lateral mais elevada, mas também uma absorção mais elevada. Um compromisso deve então ser encontrado entre estas as duas propriedades na estrutura de uma célula ou um módulo fotovoltaico.

[0009] Estruturas particulares foram desenvolvidas para tentar evitar estes inconvenientes. A patente US464771 1 descreve a inclusão de uma grade metálica coletora de corrente na camada TCO. O documento WO 2008/005027 descreve uma célula fotovoltaica compreendendo uma camada condutora sendo ligada eletricamente a uma grade de eletrodo utilizando zonas de contato trapezoidais.

[0010] Mais particularmente para as células à base de fatias de silício cristalino, o documento JP2004214442 descreve uma célula fotovoltaica compreendendo uma grade metálica de coletor depositada sobre uma camada de ITO de espessura uniforme, mas cuja taxa de concentração de oxigênio varia entre dois valores, de acordo com se a zona da camada de ITO está situada debaixo da grade metálica ou não, de modo que as zonas que não estão debaixo da grade tenham um coeficiente de absorção luminosa inferior às zonas situadas sob a grelha. Neste caso, o emissor

é de materiais maciços e cristalinos, e, portanto, é suficientemente condutor para contribuir para a condução lateral.

[0011] Outro elemento crítico na fabricação dos módulos fotovoltaicos é a interconexão entre as células. Uma única célula fornece através dos seus eletrodos uma tensão próxima da separação dos níveis de Fermi dos dois materiais dopados na célula (~1V ou menos) com uma corrente proporcional à sua superfície (10 - 30 mA/cm²) e, portanto, relativamente elevado (por exemplo, 10A para uma célula de diâmetro de 20 cm). A potência elétrica nesta forma não é suficiente de um ponto de vista prático, portanto, para obter uma tensão mais elevada, as células são interconectadas em série para produzir um módulo. Para as células monolíticas à base de fatias de silício cristalino, cada célula compreende uma fatia completa. As conexões em série para formar um módulo fotovoltaico são então feitas ligando os condutores provenientes de cada célula individual. Para módulos fotovoltaicos em camadas finas - como os utilizando uma camada de material absorvendo em silício amorfo, silício microcristalino, uma liga de silício e de germânio quer amorfa ou microcristalina, uma liga à base de cádmio, ou uma liga de cobre, índio, gálio e enxofre – as interconexões entre células são realizadas seguindo as etapas de mascaramento, de depósito e/ou de gravura.

[0012] Numerosas publicações descrevem métodos de implementação otimizados utilizando as técnicas de lift-off, de exposição ou enchimento por diferentes materiais (WO2008074879, WO2008038553, WO2008016042, US2001037823) bem como as etapas de gravura a laser (JP2002280580, US5981864, EP042251 1). Outros documentos descrevem módulos nos quais as células são conectadas em paralelo (US601 1215, CA1227861, US4652693, US4745078).

[0013] As células e os módulos fotovoltaicos em camadas finas disponíveis no mercado utilizam geralmente uma camada de óxido transparente condutor de elevada qualidade cuja espessura, transparência e condutividade elétrica são uniformes sobre a superfície de uma célula. No entanto, o rendimento fotovoltaico destas células não é ótimo. As interconexões e as distâncias entre estas

interconexões são otimizadas para levar em conta o fato de que nenhuma corrente é gerada em uma interconexão. Deste ponto de vista, a distância entre interconexões deve ser maximizada. Em contrapartida, uma grande distância entre interconexões provoca maior resistência série devido à camada de TCO. A utilização de uma camada uniforme de TCO conduz assim a uma solução única para a distância ótima entre interconexões.

[0014] A presente invenção sai do quadro da hipótese de uma camada homogênea de TCO. Pelo contrário, de acordo com a invenção utilizam-se as características ótimas de um TCO variáveis em função da posição nesta camada de TCO. A invenção refere-se mais particularmente a um módulo fotovoltaico compreendendo pelo menos duas células fotovoltaicas em série, cada célula sendo de forma retangular e compreendendo respectivamente um eletrodo traseiro de camada fina, um empilhamento de pelo menos dois materiais ativos fotovoltaicos compreendidos entre o eletrodo traseiro e um segundo eletrodo transparente condutor (TC) de camada fina, o referido eletrodo TC sendo apto a coletar e transmitir uma corrente elétrica gerada pelo empilhamento fotovoltaico, e as duas células fotovoltaicas sendo ligadas eletricamente em série por uma tira de contato elétrico que se estende ao longo de um lado adjacente às duas células e compreendida entre o eletrodo TC da primeira célula e o eletrodo traseiro da segunda célula. De acordo com a invenção, a espessura local do eletrodo transparente de camada fina da célula varia em função da distância à tira de contato elétrico.

[0015] Com vantagem, as propriedades optoeletrônicas do eletrodo transparente de camada fina variam em função da distância à referida tira de contato elétrico.

[0016] De acordo com um primeiro modo de realização, a espessura local e/ou as propriedades optoeletrônicas do eletrodo transparente de camada fina de uma célula diminuem linearmente a partir da tira de contato seguindo uma direção no plano do referido eletrodo transparente de camada fina.

[0017] De acordo com um segundo modo de realização, a espessura local (e) e/ou as propriedades optoeletrônicas do eletrodo transparente de camada fina de

uma célula diminuem de modo não linear a partir da tira de contato seguindo uma direção no plano do eletrodo transparente de camada fina.

[0018] Com vantagem, o primeiro eletrodo é metálico. Com vantagem, o material do eletrodo TC é um óxido transparente condutor entre o óxido de estanho dopado com flúor ($\text{SnO}_2\text{: F}$), o óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO: Al) ou uma liga de óxidos metálicos, por exemplo, o óxido de índio e de estanho (ITO).

[0019] De acordo com um modo de realização, o módulo fotovoltaico da invenção compreende uma série de células fotovoltaicas idênticas depositadas sobre um mesmo substrato, o empilhamento fotovoltaico de materiais ativos compreende silício amorfo (a-Si: H) (dopado ou intrínseco).

[0020] A invenção refere-se igualmente a diferentes processos de fabricação de um módulo fotovoltaico compreendendo uma série de N células fotovoltaicas de formas retangulares de largura L.

[0021] De acordo com um primeiro processo de depósito, a camada fina transparente condutora de espessura variável de uma série de N células de um módulo fotovoltaico é depositada sobre um substrato por pulverização catódica de um material TC através de uma máscara semi-transparente compreendendo N dentes de serras de largura L, aplicando ao mesmo tempo, durante a pulverização, uma translação relativa entre a máscara e o substrato na direção dos dentes de serra.

[0022] De acordo com um segundo processo de depósito, a camada fina transparente condutora de espessura variável é depositada por pulverização catódica de um material TC através de duas máscaras compreendendo uma série de N fendas de largura L e N zonas tela de largura L, as referidas máscaras sendo sequencialmente móveis em translação em duas direções opostas.

[0023] De acordo com outro processo de fabricação, a camada fina transparente condutora de espessura variável é depositada sobre um substrato por decomposição térmica de um precursor gasoso (ou depósito químico em fase vapor) através de uma máscara compreendendo N dentes de serras de largura L, aplicando ao mesmo tempo durante a decomposição térmica, uma translação relativa entre a referida

máscara e o referido substrato na direção dos dentes de serra.

[0024] De acordo com outro processo de fabricação, o processo compreende uma etapa de depósito uniforme de uma camada fina transparente condutora e uma etapa de gravura química em fase líquida da referida camada fina TC por aplicação da referida camada uniforme sobre a borda superior de uma cuba compreendendo N tanques de gravura e para cada tanque meios de enchimento e de esvaziamento de um líquido apto a gravar o material transparente condutor e meios de estanqueidade entre cada tanque. De acordo com este processo, a borda superior dos tanques forma um plano inclinado em relação ao nível horizontal do líquido nos referidos tanques de modo que o enchimento e o esvaziamento progressivo dos tanques sejam aptos a gravar de modo não uniforme a camada transparente condutora.

[0025] De acordo com ainda outro processo de fabricação, o processo compreende uma etapa de depósito uniforme de uma camada fina transparente condutora e uma etapa de gravura química em fase líquida da referida camada fina por aplicação da referida camada uniforme sobre a borda superior de uma cuba compreendendo N tanques de gravura compreendendo meios comuns de enchimento e de esvaziamento de um líquido apto a gravar o material transparente condutor e meios de escape do ar de cada tanque. De acordo com este processo, a borda superior dos tanques forma um plano inclinado em relação ao nível horizontal do líquido nos referidos tanques de modo que o escape progressivo do ar dos referidos tanques seja apto a gravar de modo não uniforme a camada transparente condutora.

[0026] De acordo com ainda outro processo de fabricação, o processo compreende uma etapa de depósito de uma camada fina transparente condutora e uma etapa de exposição da referida camada fina transparente condutora a um feixe luminoso intenso, como um feixe laser, compreendendo pelo menos um comprimento de onda absorvido pela referida camada fina transparente condutora.

[0027] De acordo com ainda outro processo de fabricação, o processo compreende uma etapa de depósito de uma camada suplementar adjacente à camada fina transparente condutora e uma etapa de exposição da referida camada

adjacente a um feixe luminoso intenso, como um feixe laser, compreendendo pelo menos um comprimento de onda absorvido pela referida camada adjacente de modo a transferir a energia absorvida pela camada adjacente à referida camada fina transparente condutora.

[0028] Esta descrição é dada, por exemplo, não limitativo e para uma melhor compreensão de como a invenção pode ser realizada em referência aos desenhos anexos nos quais:

- a figura 1 representa esquematicamente um módulo fotovoltaico de acordo com a invenção, visto em corte (figura 1A) e de cima (figura 1B);
- a figura 2 representa esquematicamente as propriedades ópticas e elétricas de uma camada transparente condutora de célula fotovoltaica;
- a figura 3A representa esquematicamente um primeiro modo de realização de uma série de células fotovoltaicas tendo uma variação contínua da espessura da camada transparente condutora (as outras camadas das células não são representadas); a figura 3B representa esquematicamente um segundo modo de realização de uma série de células fotovoltaicas tendo uma variação descontínua da espessura da camada TC; as figuras 3C e 3D ilustram respectivamente a variação espacial das propriedades optoeletrônicas deste primeiro e deste segundo modo de realização;
- figuras 4A-4E representam esquematicamente um primeiro processo de depósito por pulverização com uma máscara endentada e/ou substrato móvel com diferentes etapas do processo de depósito em vista de lado (Fig 4A), de cima (4B), em diferentes planos de corte (4C), em perspectiva (4D) e de cima com uma outra máscara (4E);
- figuras 5A-5F representam esquematicamente um segundo processo de depósito por pulverização com duas máscaras móveis seguindo uma sequência ilustrada Figuras 5C-5D-5E-5F;
- a figura 6 representa uma vista de três quartos de uma cuba para um primeiro processo de gravura químico em fase líquida de um módulo fotovoltaico;
- as figuras 7A-7D representam esquematicamente as etapas de um

primeiro processo de gravura química em fase líquida de um módulo fotovoltaico de acordo com a invenção;

- a figura 8 representa uma vista de três quartos de uma cuba para um segundo processo de gravura química em fase líquida de um módulo fotovoltaico;

- as figuras 9A-9E representam esquematicamente as etapas de um segundo processo de gravura química em fase líquida de um módulo fotovoltaico de acordo com a invenção.

[0029] A invenção refere-se a um módulo fotovoltaico compreendendo células PV em série, cada célula compreendendo um eletrodo transparente condutor (TC) de camada fina. A invenção refere-se igualmente a diferentes processos de fabricação de tal camada TC para módulo fotovoltaico.

[0030] A invenção refere-se primeiramente a uma camada transparente e condutora (TC) para um módulo fotovoltaico.

[0031] Em um módulo compreendendo uma célula única, a camada condutora TC serve ao mesmo tempo de janela e eletrodo. Em um módulo fotovoltaico compreendendo várias células ligadas em série, a camada TC é ligada eletricamente a um contato sobre o eletrodo traseiro da célula seguinte.

[0032] O material de contato dianteiro preferivelmente é indicado como um material transparente condutor (TC) antes que um óxido transparente condutor (TCO), porque o fato de que se trata de um óxido não é essencial para a invenção. Uma camada TC que não seria um óxido - por exemplo, uma camada metálica muito fina – se beneficiaria igualmente das características da invenção.

[0033] A figura 1 A representa um esquema em corte de um módulo fotovoltaico 1 compreendendo várias células fotovoltaicas 7, 7'... de acordo com a invenção, enquanto a figura 1B representa esquematicamente este módulo 1 em vista de cima. As células fotovoltaicas 7 e T são no exemplo representado depositadas sobre um mesmo substrato 2 e ligadas eletricamente entre elas em série. Uma célula fotovoltaica 7 compreende uma camada 4 de um material TC depositado sobre o substrato 2, um empilhamento 3 de materiais fotovoltaicos depositado sobre a camada de TC 4, e um eletrodo metálico 5. As células são ligadas entre elas por

interconexões formadas por uma tira de contato elétrico 6 entre o eletrodo TC 4 de uma célula 7 e o eletrodo traseiro 5' metálico da célula seguinte 7'. O substrato 2 é um substrato plano situado em um plano XY de uma referência XYZ. A figura 1 B mostra por transparência a tira de contato 6, esta tira 6 estende-se por todo o comprimento de uma célula 7.

[0034] A camada 4 TC da célula fotovoltaica da figura 1 A tem uma espessura não uniforme através da sua superfície. Mais precisamente a espessura e da camada TC é máxima ao nível da interconexão 6 e diminui em função da distância d_x a esta interconexão.

[0035] Esta estrutura da camada 4 TC permite obter um compromisso entre as propriedades ópticas e elétricas da camada 4. Com efeito, as propriedades da camada 4 TC variam com a posição em relação à interconexão no módulo, como indicado esquematicamente na Figura 1 A. Na proximidade da interconexão, as correntes elétricas (10) geradas pelo material fotovoltaico e coletadas pelo eletrodo transparente condutor (representados por setas) na célula acrescentam-se e a espessura relativamente maior da camada TC permite aumentar a sua condutância (ou diminuir a sua resistência de camada R_s). Ao contrário, distante da interconexão, menos corrente circula, a espessura da camada 4 sendo mais baixa, a sua transparência é melhorada, o que permite maximizar a coleta de luz. Este duplo efeito é representado esquematicamente na Figura 2. A figura 2 representa um esquema em corte de uma camada TC cujas propriedades ópticas (absorção α) e elétricas (R_s) variam sobre a largura L de uma célula fotovoltaica. Neste esquema, as propriedades optoeletrônicas da camada 4 variam com a posição. As variações de espessura local e/ou as propriedades optoeletrônicas da camada eletrodo transparente condutor 4 permitem otimizar o compromisso entre condutividade e transparência.

[0036] A invenção refere-se igualmente a diferentes modos de realização de camadas de TC para módulo fotovoltaico, a camada TC de cada célula de um módulo tendo uma espessura e/ou as características optoeletrônicas não uniformes em relação a uma zona de contato elétrico de interconexão entre células ligadas em

série.

[0037] As figuras 3A e 3B representam esquematicamente em corte dois modos de realização desta não uniformidade de espessura da camada 4 TC. De acordo com um primeiro modo de realização (Figura 3A), a variação de espessura da camada 4 é uma variação contínua da espessura da camada em relação ao ponto de interconexão de cada célula. No primeiro modo de realização, as variações da espessura na direção perpendicular ao plano da página não apresentam nenhuma vantagem, mas podem existir. Este primeiro modo de realização corresponde a uma variação contínua das propriedades do material TC, ilustrada esquematicamente Fig 3C.

[0038] De acordo com um segundo modo de realização (Figura 3B), a variação de espessura da camada 4 é uma variação gradual ou descontínua por etapas de espessura constante. Neste segundo modo de realização, as variações da espessura na direção perpendicular ao plano da página não apresentam nenhuma vantagem, mas podem estar presentes. Este segundo modo de realização corresponde a uma variação descontínua das propriedades do material TC, ilustrada esquematicamente Fig. 3D.

[0039] Outros perfis de variação de espessura da camada TC podem com vantagem ser utilizados a fim de otimizar as propriedades do módulo fotovoltaico.

[0040] A invenção refere-se igualmente a diferentes processos de fabricação de camadas de TC de espessura não uniforme para módulo fotovoltaico. Os processos descritos visam modificar a espessura local de uma camada TC de célula fotovoltaica antes que as suas propriedades físicas intrínsecas. As técnicas descritas não excluem a utilização de uma etapa suplementar de separação elétrica dos eletrodos, por exemplo, por gravura laser.

[0041] Uma primeira categoria de processo de fabricação de camada TC para módulo fotovoltaico refere-se a processos de depósito.

[0042] Uma técnica de depósito correntemente utilizada é a pulverização de um material alvo 1 para um substrato 2. No caso de células à base de uma fatia de silício cristalino ou policristalino, esta fatia serve de substrato ao depósito do eletrodo

TC. No caso de células em camadas finas em configuração substrato, a camada TC é depositada sobre as camadas ativas, as camadas ativas sendo previamente depositadas sobre o substrato.

[0043] Os requerentes propõem diferentes processos de pulverização que permitem obter diretamente uma camada TC tendo um perfil de espessura procurado.

[0044] Em um primeiro processo de pulverização contínua, onde o substrato 2 é móvel durante o depósito, utiliza-se uma máscara 8, da qual uma vista de lado é apresentada BA fig 4A. A máscara tem a forma de dentes de serra, onde o espaçamento entre dois dentes corresponde à largura L de uma célula fotovoltaica (fig 4B). Um lado de cada dente é plano para efetivamente definir a separação entre duas células. A máscara pode ser em metal fino, e as extremidades dos dentes podem ser auto-suportadas (vista de cima, Fig 4B) ou suportadas por uma barra lateral 8' (fig. 4E), o que depende da rigidez e as dimensões da máscara. Como o substrato é móvel em translação na direção X durante o depósito, a superfície é exposta gradualmente, a camada 4 é depositada unicamente sobre a superfície exposta, e um perfil de espessura variável de acordo com uma direção é obtido. Uma vista em seção do perfil do material (a', b', c') depositado em três lugares (a, b, e c) ou seja em três momentos do processo, é apresentada na figura em Fig. 4C. O movimento relativo do substrato em relação à máscara 8 é preferivelmente contínuo de modo que as variações na espessura da camada 4 TC estejam presentes em uma direção apenas. Com um movimento contínuo, o motivo da máscara reproduz-se na espessura da camada depositada; um motivo compreendendo triângulos retos produz uma variação linear na espessura (figura 3A), um motivo compreendendo curvas produz uma variação não linear, e um motivo descontínuo produz um perfil de espessura descontínuo, como, por exemplo, representado na figura 3B. Este processo é igualmente útil em um modo de realização onde a máscara é móvel em translação.

[0045] Em um segundo processo de pulverização estacionário, onde o substrato é fixo durante o depósito, outra técnica de mascaramento é proposta, que utiliza

duas máscaras complementares 9 e 9' como representadas na Fig 5B. Cada máscara 9, 9' compreende aberturas cuja largura corresponde à largura L de uma célula fotovoltaica, e as zonas de mascaramento de largura L idêntica. A superfície das máscaras 9 e 9' cobre a superfície de um módulo fotovoltaico. As máscaras 9 e 9' inicialmente são colocadas de modo que as aberturas das máscaras 9 e 9' coincidam. Durante a pulverização da camada 4 TCO, a primeira máscara 9 é deslocada em uma direção até as aberturas das máscaras 9 e 9' não se sobreporem mais (sequência 5C-5D). Depois, a segunda máscara 9' é deslocada na direção oposta, até as aberturas das máscaras 9 e 9' coincidirem de novo (sequência 5E-5F). Este processo permite produzir camadas 4 TC de espessura variável seguindo a direção de deslocamento das máscaras 9 e 9'. Neste processo, a velocidade de deslocamento das máscaras determina o perfil em espessura da camada resultante - uma velocidade constante produz um perfil linear, uma velocidade variável produz um perfil não linear, e paradas produzem um perfil com descontinuidades em espessura.

[0046] Uma segunda categoria de processo de fabricação refere-se a processos de gravura do material TC após depósito.

[0047] Uma técnica atualmente utilizada para gravar e texturizar certas camadas de TC é um tratamento químico em fase aquosa. Por exemplo, a utilização de uma solução diluída de HCl (0,5%) grava o ZnO com uma velocidade de gravura de cerca de 60 Å/s. A duração de exposição à mistura aquosa 18 determina a duração da gravura. No entanto, a gravura é geralmente uniforme sobre toda a superfície exposta à solução. A invenção propõe dois processos de gravura em fase líquida, que utilizam tanques de gravura diferentes, para fabricar simultaneamente várias células fotovoltaicas 7, as camadas 4 TC tendo um perfil de espessura variável em relação a uma zona ou uma tira de contato elétrico 6, como descrito acima.

[0048] Uma primeira estrutura de tanque de gravura 12 é representada esquematicamente na Figura 6. O tanque 12 compreende uma série de tanques 13, 13', 13'', cujo número corresponde ao número de células de um módulo fotovoltaico. A borda superior 14 de cada tanque 13, 13', 13'' forma um retângulo inclinado em

relação ao fundo horizontal da tanque. A abertura retangular de um tanque corresponde à superfície de uma célula e é estanque. Os tanques 13, 13', 13'' são ligados de tal maneira que a borda superior de uma tanque corresponda à borda inferior da tanque seguinte (Figura 7A). Os fundos dos tanques são deslocados um em relação aos outros (Figura 7A). Cada tanque tem pelo menos duas conexões de líquidos: uma conexão de enchimento 15 e de esvaziamento 16 inferior do tanque e uma conexão 17 para o escape do ar tão próxima como possível da parte superior do tanque.

[0049] Um primeiro processo de gravura aquosa utilizando o tanque 12 da figura 6 é ilustrado nas Figuras 7A-7D. O substrato 2 sobre o qual é depositada uma camada 4 TC de espessura uniforme é colocado sobre o tanque 12 de modo a ter um contato estanque totalmente em redor do substrato e entre cada tanque (Figuras 7A-7B). Os tanques 13, 13', 13'' são depois cheios de modo simultâneo e progressivo com a solução aquosa 18 (Figura 7C). A solução 18 estando em contato sobre uma duração mais longa na parte inferior de cada tanque, a gravura da camada 4 é maior neste nível que perante a parte superior de cada tanque. Isto pode ser realizado retirando um volume de ar fixo de cada tanque através da saída de escape de ar 17. A velocidade na qual os tanques são cheios determina a gravura relativa aos diferentes pontos da superfície exposta à solução aquosa (Figura 7C), e pode ser utilizada para dominar o perfil do TC. Os tanques são esvaziadas depois simultaneamente (Figura 7D), para permitir retirar o substrato texturizado e gravado assim realizado. O enchimento e o esvaziamento simultâneos dos tanques 13, 13', 13'' permitem obter um perfil de gravura idêntico para cada célula do módulo sobre um mesmo substrato 2.

[0050] Uma segunda estrutura de tanque de gravura 12' é representada sobre a Figura 8 e compreende igualmente uma série de tanques 13, 13', 13'' ligados entre si. A periferia retangular que define a borda 14 de um tanque ainda é inclinada aí em relação ao fundo da tanque. O tanque 12' tem uma única conexão fluídica de enchimento 15 e uma única conexão de esvaziamento 16, e cada tanque 13, 13', 13'' tem uma conexão de entrada/saída 17 para o escape do ar tão próximo como

possível da parte superior de cada tanque.

[0051] Um segundo processo de gravura aquoso utilizando o tanque 12' da figura 8 é ilustrado nas Figuras 9A-9E a fim de obter um perfil como descrito na primeira parte. Um módulo fotovoltaico 1 compreendendo um substrato 2 e uma camada 4 TC de espessura inicialmente uniforme é colocado sobre a borda 14 do tanque 12' de modo unido e estanque em torno do substrato e entre cada tanque. Os tanques 13, 13', 13'' interconectados são cheios simultaneamente com a solução aquosa 18 através da conexão de enchimento 15 (Fig 9B), embora o enchimento completo seja impedido pelo ar aprisionado 19 em cada tanque, o que previne qualquer gravura descontrolada da superfície da camada 4 durante esta etapa. O ar aprisionado 19 é retirado simultânea e progressivamente de todas os tanques (Fig 9C-9D), permitindo assim a solução de gravura 18 de entrar em contato com a camada TC e gravar a mesma em superfície. Após gravura, a solução é retirada pelo "dreno" (Fig 9D). Assim, a velocidade na qual os tanques são cheios e esvaziados determina a quantidade relativa de material gravado localmente na superfície da camada de TC de cada célula do módulo fotovoltaico, e pode, portanto, ser utilizada para controlar o perfil final do TC. O enchimento e o esvaziamento simultâneos dos tanques permitem assim obter um perfil de gravura idêntico sobre todas as células de um mesmo módulo fotovoltaico.

[0052] A estrutura de um eletrodo transparente condutor para a célula fotovoltaica da invenção compreende uma camada 4 de TC de espessura e/ou de propriedades optoeletrônicas variáveis em função da distância d_x a uma zona ou um ponto de contato elétrico 6 desta camada 4. Esta zona de contato 6 pode ser uma conexão entre a camada TCO 4 e um eletrodo externo para extrair a corrente da célula ou uma interconexão entre a camada TCO de uma primeira célula 7 e um eletrodo metálico de uma segunda célula T em série com a primeira célula 7 no módulo fotovoltaico 1. As variações de espessura e/ou de propriedades optoeletrônicas são escolhidas para melhorar a transparência óptica da camada TCO onde a densidade de corrente é baixa e melhorar as propriedades condutoras da camada TCO onde a densidade de corrente é elevada, de modo a otimizar o

rendimento global de um módulo fotovoltaico.

[0053] De acordo com outro processo de fabricação, a camada fina transparente condutora de propriedades ópticas eletrônicas variáveis pode ser obtida por um processo de recozimento laser consistindo em expor uma camada fina transparente condutora que tem propriedades ópticas eletrônicas uniformes a um feixe laser compreendendo um comprimento de onda susceptível de ser absorvida pelo material TC. Uma exposição seletiva de certas zonas da camada TC permite assim obter uma camada TC de propriedades ópticas eletrônicas variáveis em função da duração de exposição e/ou a intensidade local do feixe laser.

[0054] De acordo com uma variante deste modo de fabricação, o processo compreende uma etapa de depósito de uma camada suplementar adjacente à camada fina transparente condutora. Entende-se aqui por camada adjacente quer uma camada depositada dentro da camada fina transparente condutora (em sanduíche), quer uma camada depositada entre a camada fina transparente condutora 4 e o substrato 2, quer ainda uma camada depositada entre a camada fina transparente condutora 4 e empilhamento fotovoltaico de materiais ativos 3. De acordo com esta variante, a exposição desta camada adjacente a um feixe laser intenso compreendendo pelo menos um comprimento de onda absorvido pela referida camada adjacente permite transferir a energia absorvida pela camada adjacente à referida camada fina transparente condutora para produzir uma camada TC de propriedades ópticas eletrônicas variáveis.

[0055] Um módulo fotovoltaico da invenção pode ser realizado seguindo diversos processos de fabricação de depósito e/ou de gravura. Em particular, a invenção propõe processos de depósito da camada transparente condutora (TC) e processos de gravura após o depósito permitindo fabricar simultaneamente várias células de um mesmo módulo. Os processos de depósito compreendem uma etapa de mascaramento para gerar a estrutura não uniforme em espessura e convêm para todas as espécies de OTC. Os processos de gravura compreendem uma etapa de gravura química e convêm particularmente para os TCO que requerem, além disso, uma etapa de gravura para gerar uma texturização (exemplo: ZnO:Al por

pulverização magnetron) para as aplicações fotovoltaicas.

[0056] Os processos aqui descritos são relativamente simples, mas não são necessariamente os únicos que permitem fabricar módulos fotovoltaicos de acordo com a invenção.

[0057] A invenção permite uma melhoria notável do rendimento dos módulos fotovoltaicos sem grande aumento na complexidade destes módulos e aplicando os processos de fabricação simples.

[0058] Uma célula de um módulo fotovoltaico da invenção não utiliza uma camada uniforme de TCO, mas pelo contrário utiliza as características ótimas de uma camada de TCO variáveis em função da posição da camada e da distância na interconexão entre células.

REIVINDICAÇÕES

1. Módulo fotovoltaico (1) compreendendo pelo menos duas células fotovoltaicas (7, 7') em série, cada célula (7, 7') sendo de forma retangular e compreendendo respectivamente:

- um eletrodo traseiro de camada fina (5, 5'),
- um empilhamento fotovoltaico de pelo menos dois materiais ativos fotovoltaicos (3, 3') compreendidos entre o eletrodo traseiro (5, 5') e um eletrodo transparente condutor (TC) de camada fina (4, 4'),
- o referido eletrodo TC (4, 4') sendo apto a coletar e a transmitir uma corrente elétrica (10, 10') gerada pelo empilhamento fotovoltaico (3, 3'), e
- as duas células fotovoltaicas (7, 7') sendo ligadas eletricamente em série por uma tira de contato elétrico (6) estendendo-se ao longo de um lado adjacente às duas células (7, 7'), a referida tira de contato (6) sendo compreendida entre o eletrodo TC (4) da primeira célula (7) e o eletrodo traseiro (5') da segunda célula (7'),
caracterizado pelo fato de que:

a espessura local (e) do eletrodo transparente de camada fina (4) da célula (7) varia em função da distância à referida tira de contato elétrico (6).

2. Módulo fotovoltaico (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as propriedades optoeletrônicas do eletrodo transparente de camada fina (4) variam em função da distância à referida tira de contato elétrico (6).

3. Módulo fotovoltaico (1) de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a espessura local (e) e/ou as propriedades optoeletrônicas do eletrodo transparente de camada fina (4) de uma célula (7) diminuem linearmente a partir da tira de contato (6) seguindo uma direção (X) no plano do referido eletrodo transparente de camada fina (4).

4. Módulo fotovoltaico (1) de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a espessura local (e) e/ou as propriedades optoeletrônicas do eletrodo transparente de camada fina (4) de uma célula (7) diminuem de modo não linear a partir da tira de contato (6) seguindo uma direção (X) no plano do referido eletrodo transparente de camada fina (4).

5. Módulo fotovoltaico (1) de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o material do eletrodo TC (4) é um óxido transparente condutor entre o óxido de estanho dopado com flúor ($\text{SnO}_2\text{: F}$), o óxido de zinco dopado com alumínio (ZnO: Al) ou uma liga de óxidos metálicos (ITO).

6. Módulo fotovoltaico (1) de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de compreender uma série de células fotovoltaicas (7, 7', 7''...) idênticas depositadas sobre um mesmo substrato (2), e pelo fato de que o empilhamento fotovoltaico de materiais ativos (3, 3', 3''...) compreende silício amorfo (a-Si: H), dopado ou intrínseco.

7. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) do tipo definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, compreendendo uma série de N células fotovoltaicas (7, 7', 7''...) retangulares de largura L, caracterizado pelo fato de que a camada fina transparente condutora (4, 4', 4''...) de espessura variável é depositada sobre um substrato por pulverização catódica de um material TC através de uma máscara (8) compreendendo N dentes de serra de largura L, aplicando ao mesmo tempo durante a pulverização, uma translação relativa entre a referida máscara e o referido substrato na direção (X) dos dentes de serra.

8. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) do tipo definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, compreendendo uma série de N células fotovoltaicas (7, 7', 7''...) de largura L, caracterizado pelo fato de que a camada fina transparente condutora (4, 4', 4''...) de espessura variável é depositada por pulverização catódica de um material TC através de duas máscaras (9, 9') compreendendo uma série de N fendas de largura L e N zonas tela de largura L, as referidas máscaras (9, 9') sendo sequencialmente móveis em translação em duas direções opostas.

9. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) do tipo definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, compreendendo uma série de N células fotovoltaicas (7, 7', 7''...) retangulares de largura L, caracterizado pelo fato de que a camada fina transparente condutora (4, 4', 4''...) de espessura variável é depositada sobre um substrato (2) por decomposição térmica de um precursor gasoso através

de uma máscara (8) compreendendo N dentes de serra de largura L, aplicando ao mesmo tempo durante a decomposição térmica, uma translação relativa entre a referida máscara e o referido substrato na direção (X) dos dentes de serra.

10. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) do tipo definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de compreender uma etapa de depósito uniforme de uma camada fina transparente condutora (TC) e uma etapa de gravura química em fase líquida da referida camada fina TC por aplicação da referida camada uniforme sobre a borda (14) superior de uma cuba (12) compreendendo N tanques (13, 13', 13'', 13''') de gravura e, para cada tanque, meios de enchimento (15) e de esvaziamento (16) de um líquido (18) apto a gravar o material transparente condutor e meios de estanqueidade entre cada tanque, a referida borda superior (14) formando um plano inclinado em relação ao nível horizontal do líquido nos referidos tanques (13, 13', 13'', 13''') de modo que o enchimento e o esvaziamento progressivo dos tanques sejam capazes de gravar de modo não uniforme a camada transparente condutora (4).

11. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) do tipo definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de compreender uma etapa de depósito uniforme de uma camada fina transparente condutora e uma etapa de gravura química em fase líquida da referida camada fina por aplicação da referida camada uniforme sobre a borda (14) superior de uma cuba (12') compreendendo N tanques de gravura (13, 13', 13'', 13''') compreendendo meios comuns de enchimento (15) e de esvaziamento (16) de um líquido (18) apto a gravar o material transparente condutor e meios de escape (17) do ar de cada tanque, a referida borda superior (14) formando um plano inclinado em relação ao nível horizontal do líquido (18) nos referidos tanques (13, 13', 13'', 13''') de modo que o escape (17) progressivo do ar das referidos tanques seja capaz de gravar de modo não uniforme a camada transparente condutora (4).

12. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) do tipo definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de compreender uma etapa de depósito de uma camada fina transparente condutora e uma etapa de

exposição seletiva de certas áreas da referida camada fina transparente condutora a um feixe luminoso intenso, tal como um feixe de laser, compreendendo pelo menos um comprimento de onda absorvido pela referida camada fina transparente condutora, a duração da exposição e/ou a intensidade local do feixe de laser sendo variável como uma função da distância para a tira de contato elétrico (6) percorrendo um lado adjacente a duas células (7, 7') em série de modo a obter a camada transparente condutora de espessura variável em função da dita distância para a tira de contato elétrico (6).

13. Processo de fabricação de um módulo fotovoltaico (1) de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de compreender adicionalmente uma etapa de depósito de uma camada suplementar adjacente à camada fina transparente condutora e uma etapa de exposição da referida camada adjacente a um feixe luminoso intenso, tal como um feixe de laser, compreendendo pelo menos um comprimento de onda absorvido pela referida camada adjacente, de modo a transferir a energia absorvida pela camada adjacente para a referida camada fina transparente condutora (4).



FIGURA 1A

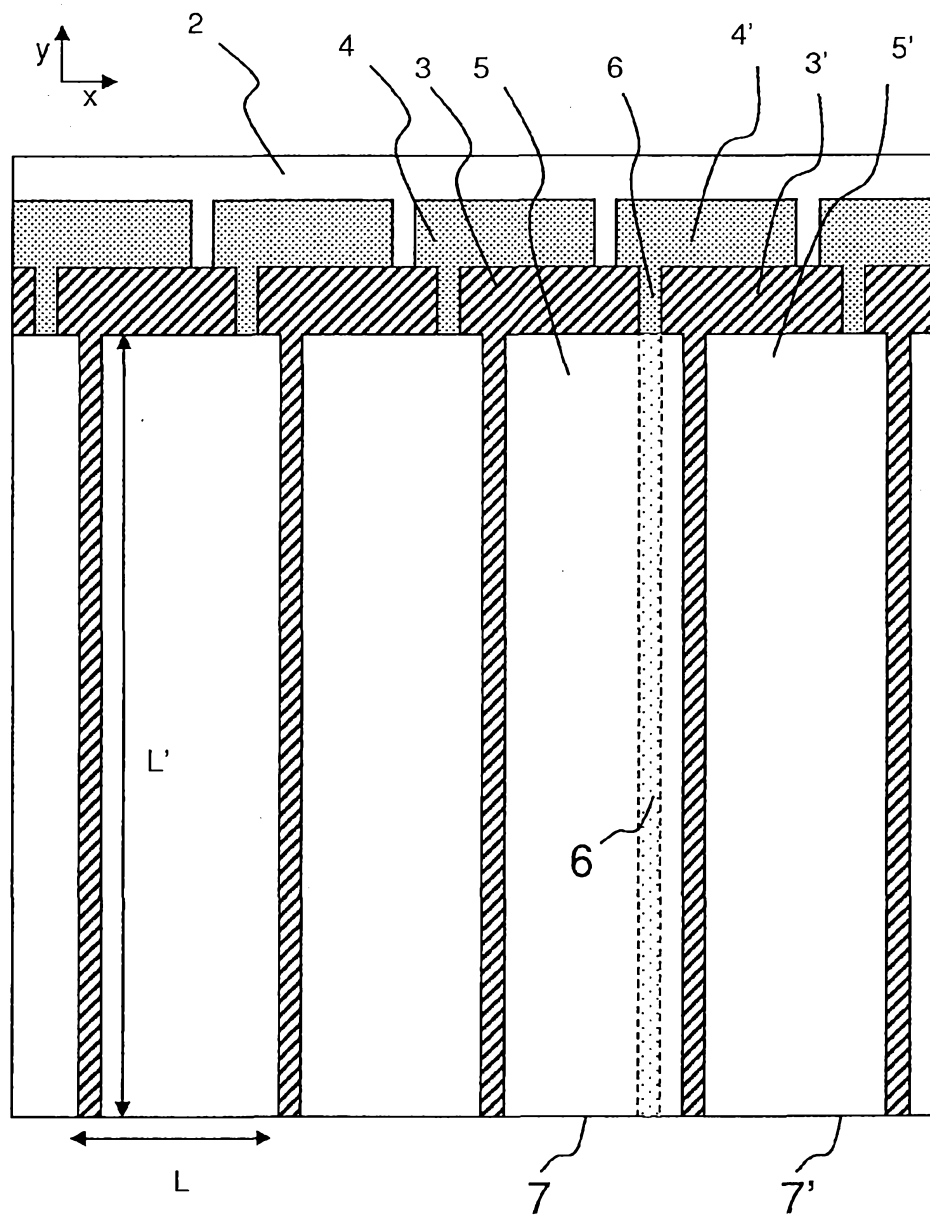


FIGURA 1B

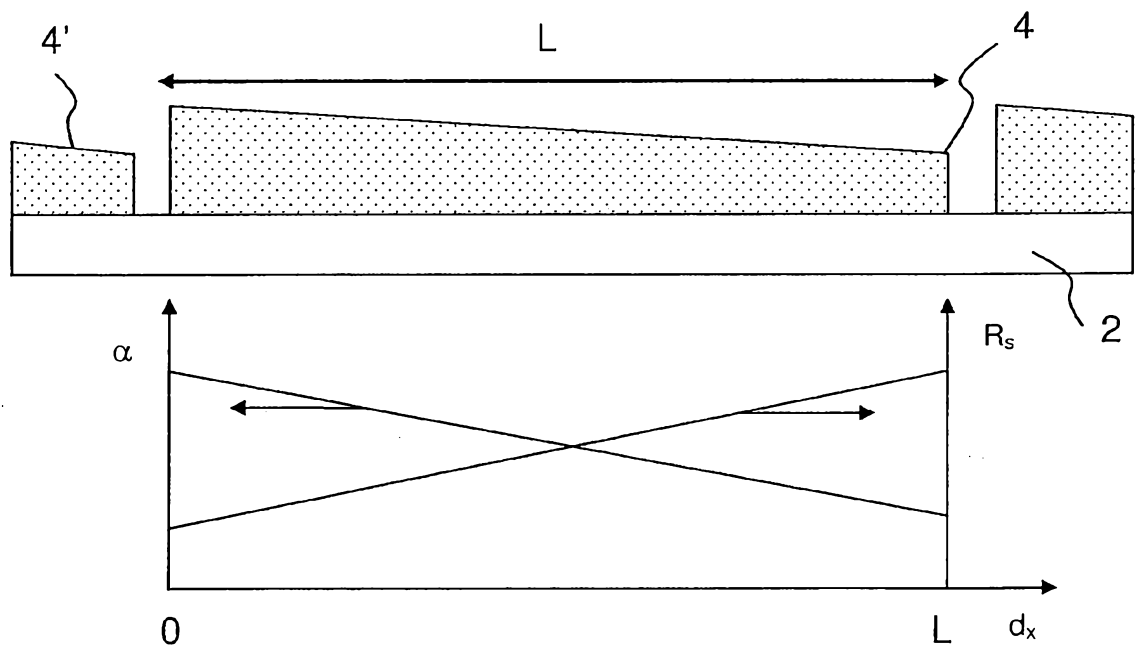


FIGURA 2

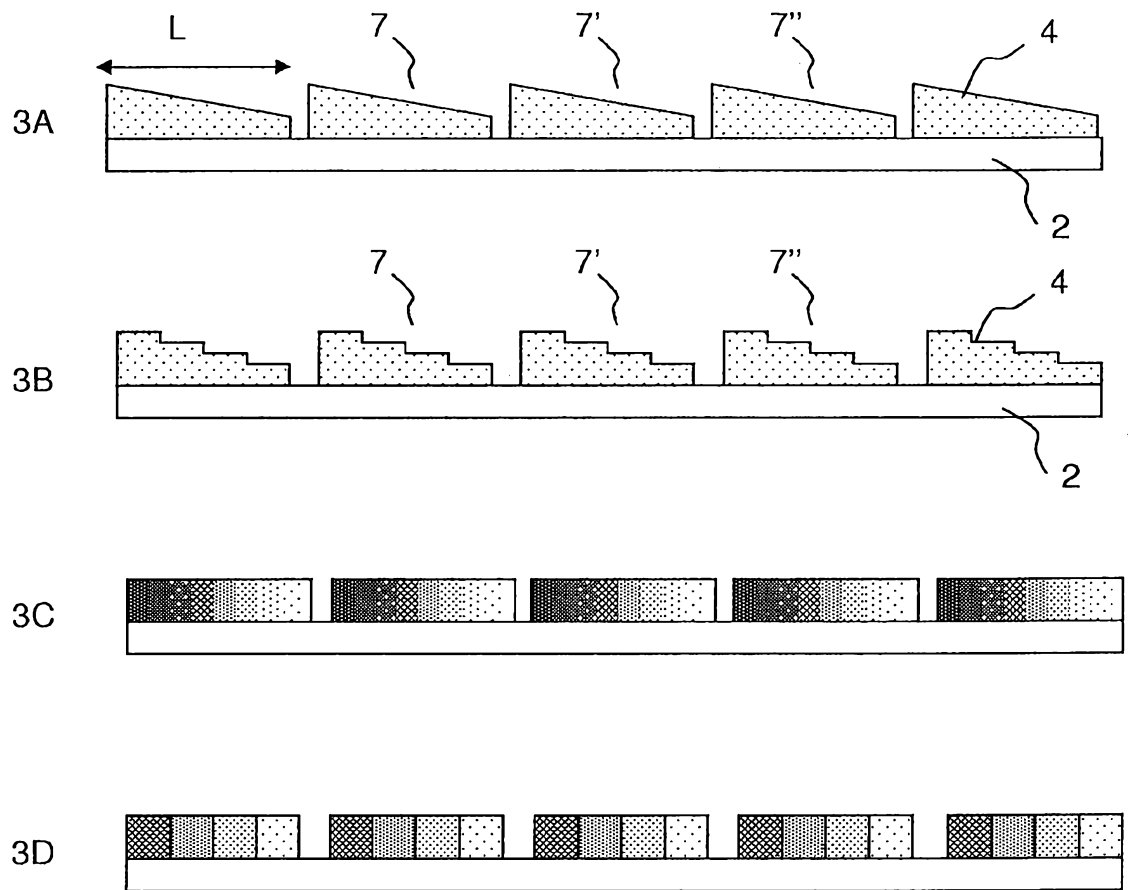
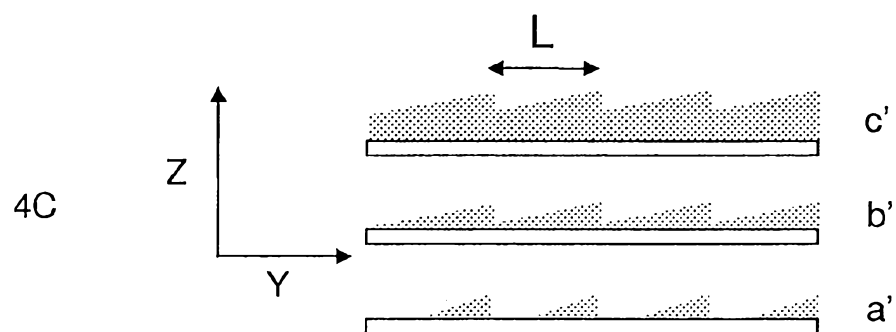
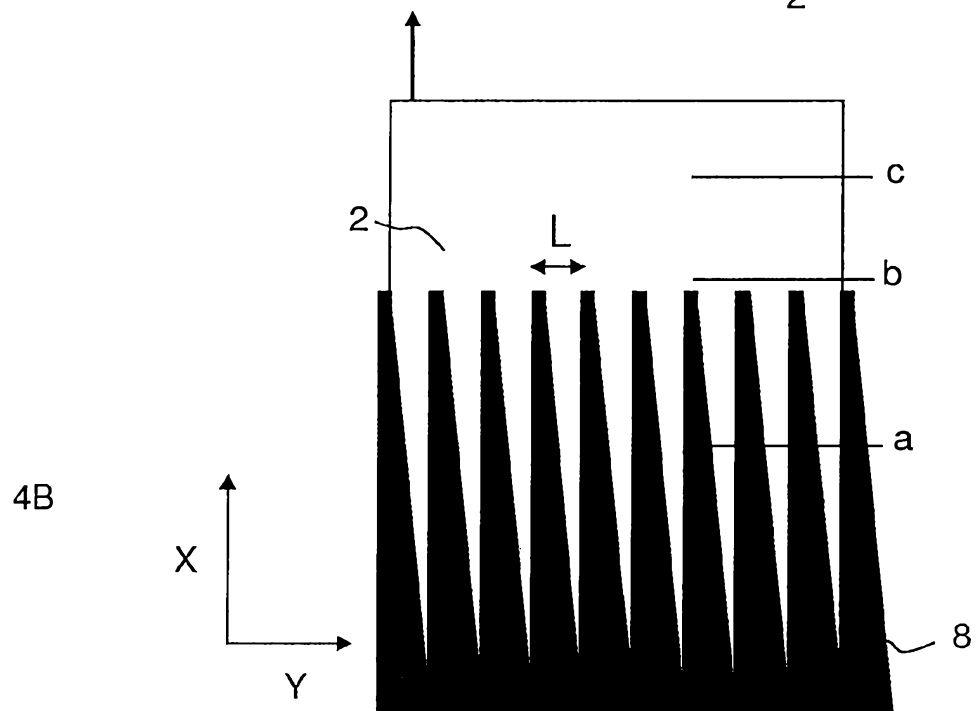
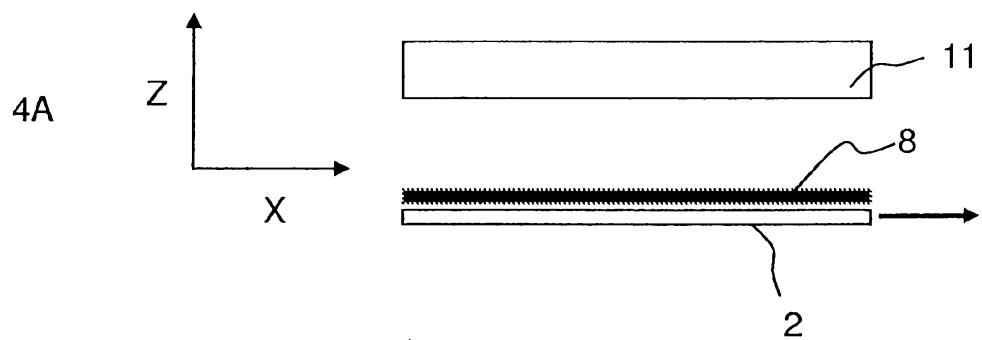


FIGURA 3



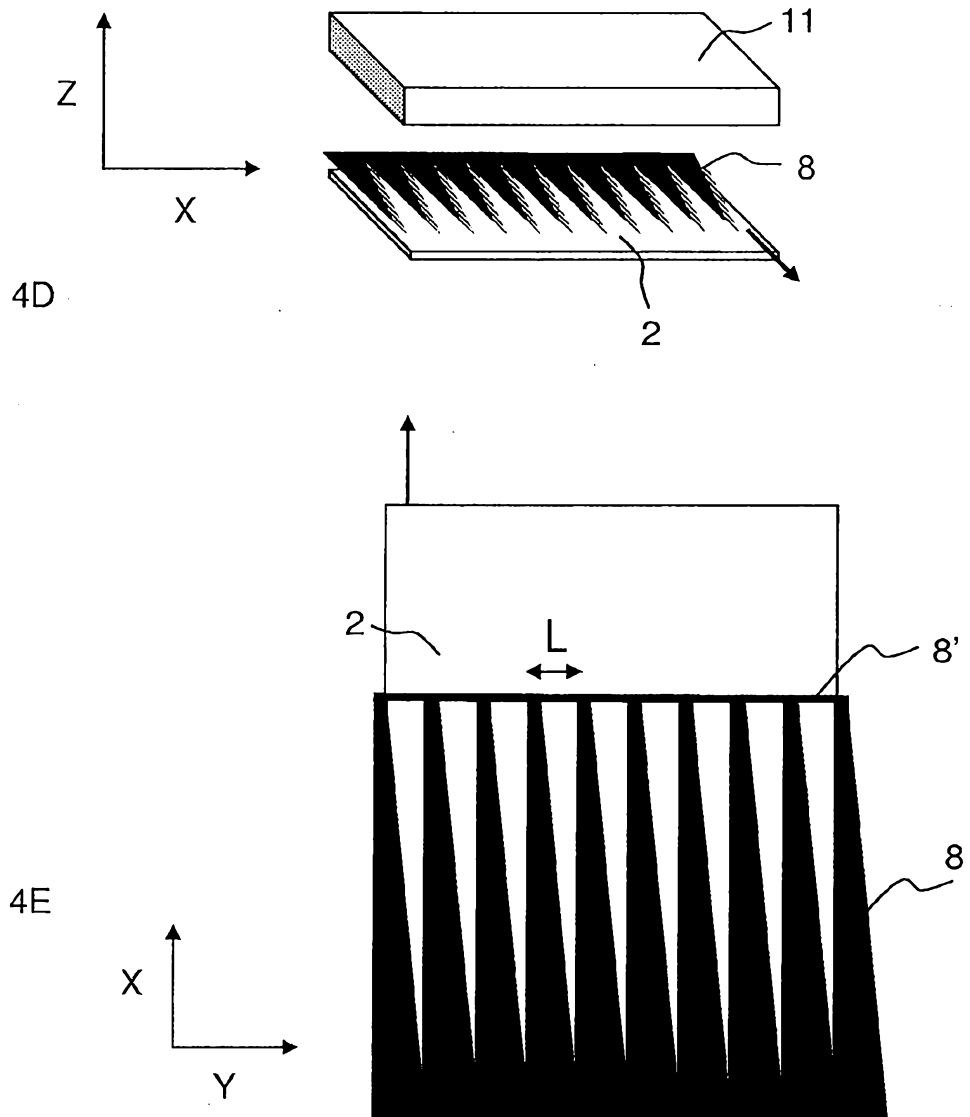


FIGURA 4

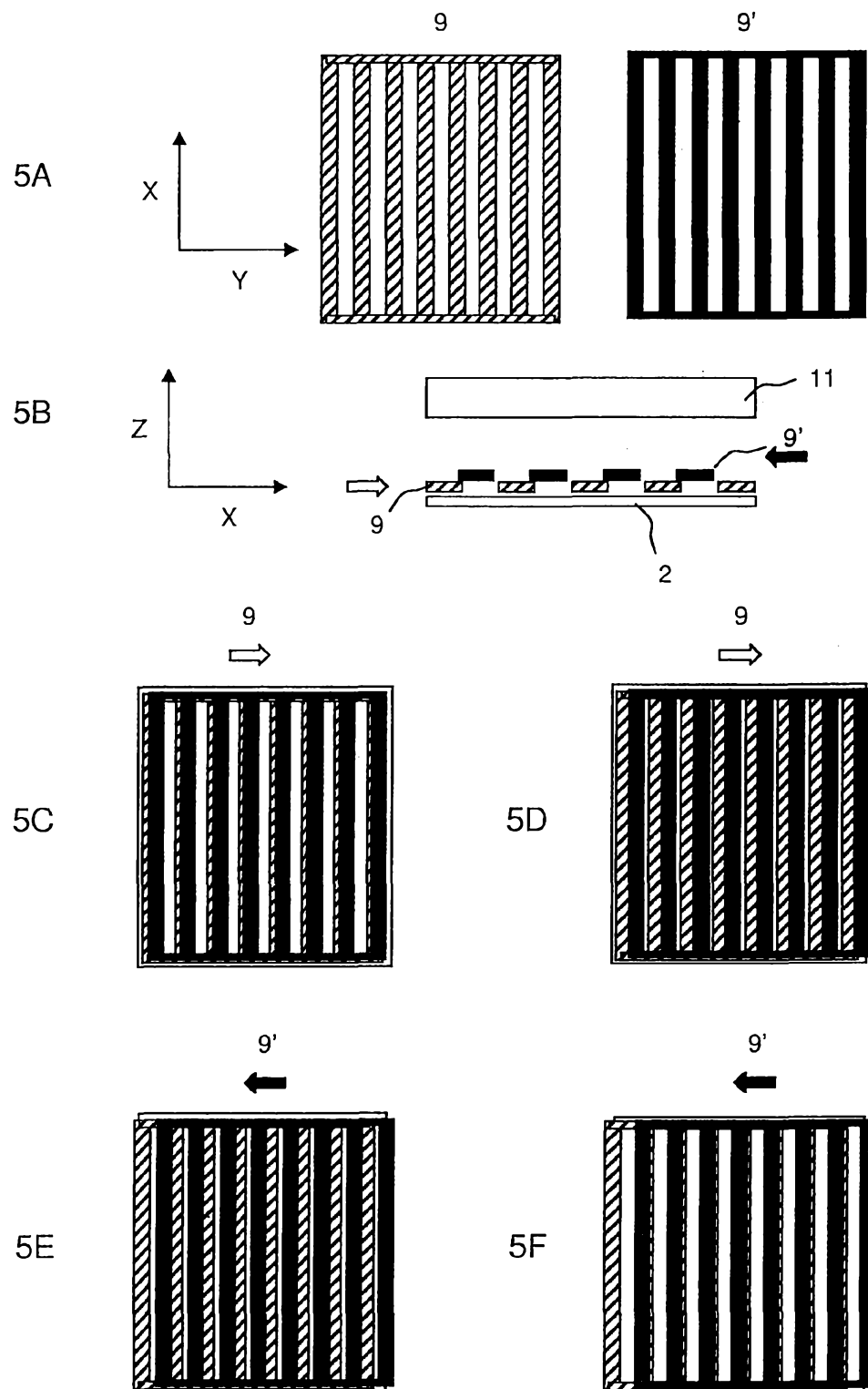


FIGURA 5

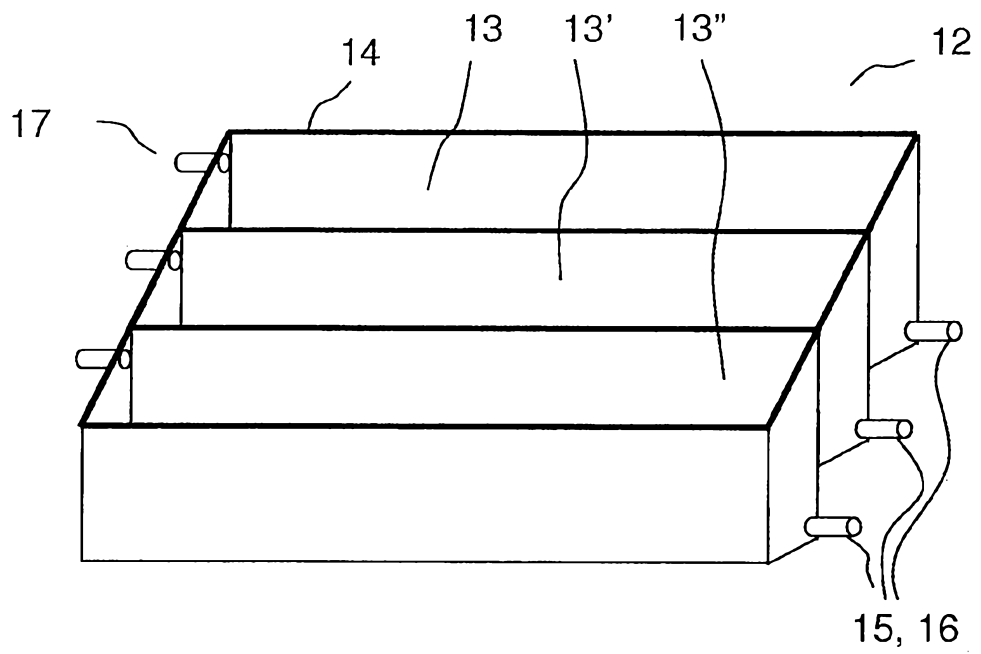


FIGURA 6

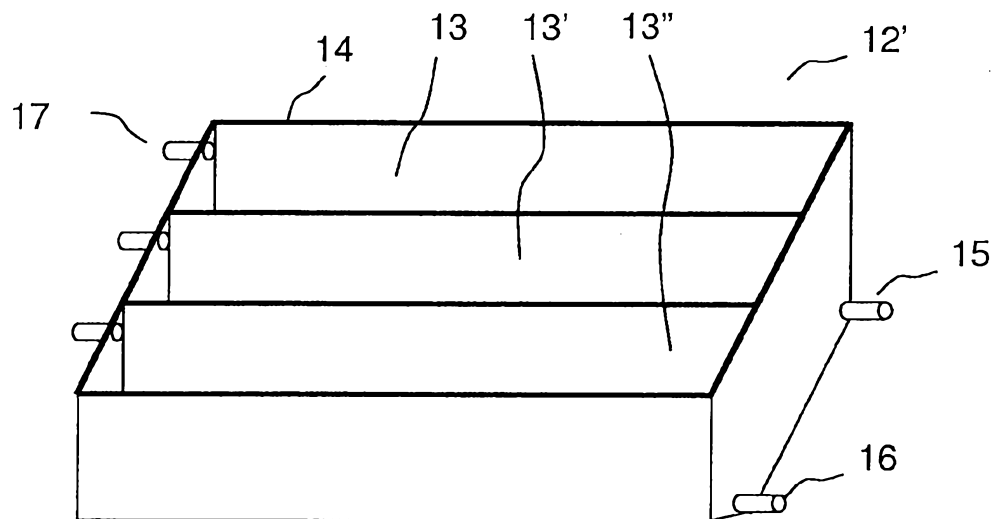


FIGURA 8

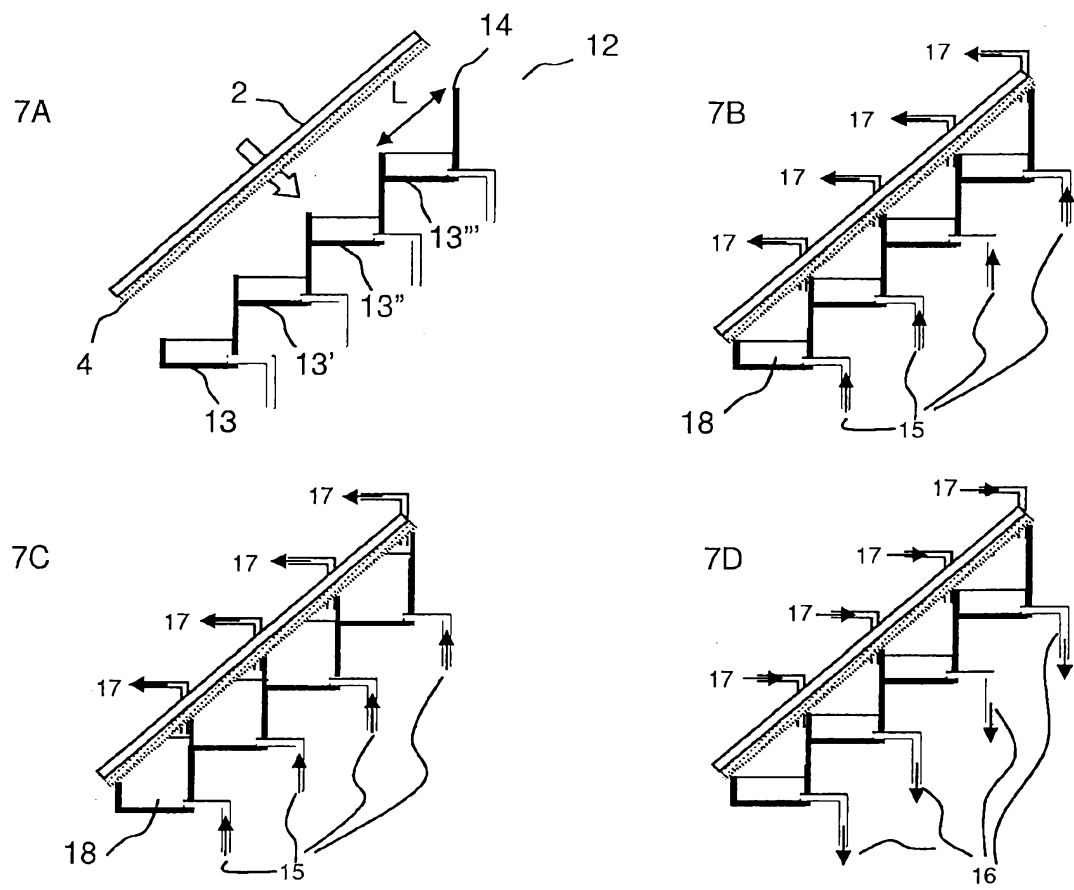


FIGURA 7

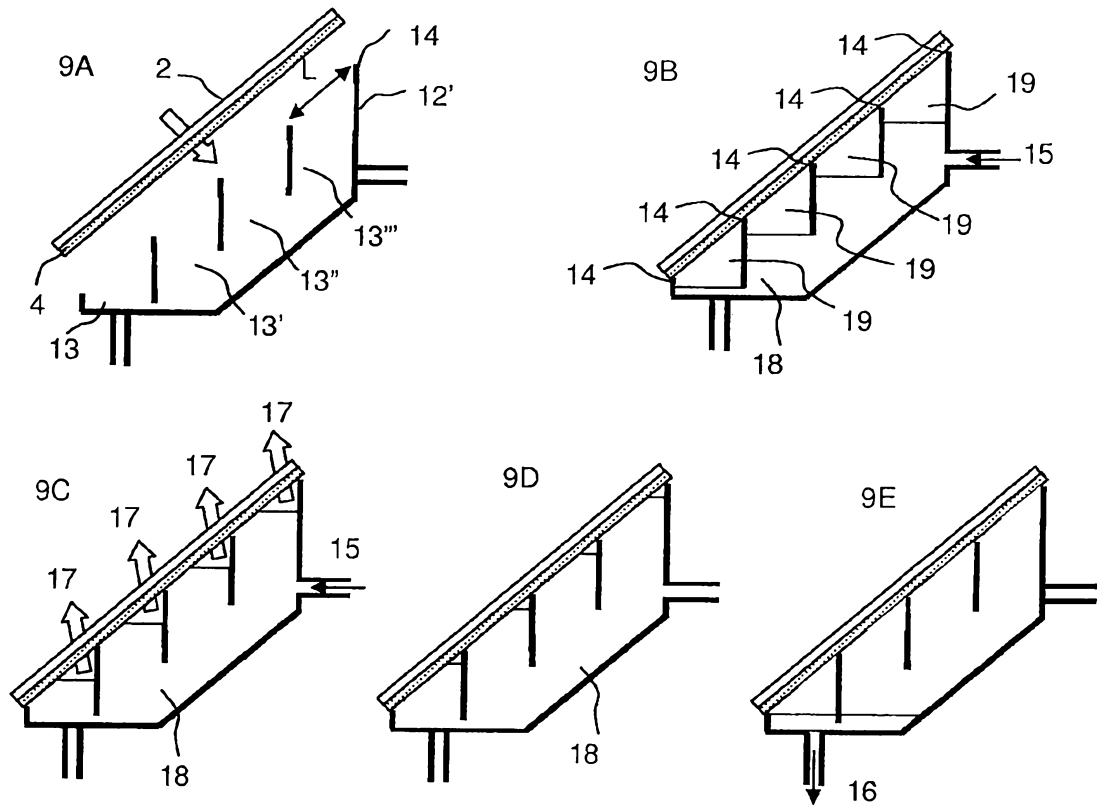


FIGURA 9