



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

(21) PI 0807610-3 A2



\* B R P I 0 8 0 7 6 1 0 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 04/02/2008  
(43) Data da Publicação: 22/07/2014  
(RPI 2272)

(51) Int.Cl.:  
H01G 9/20

(54) Título: SISTEMAS DE CÉLULA FOTO-VOLTÁICA (57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 02/02/2007 GB 0702049.8,  
16/08/2007 GB 0716039.3

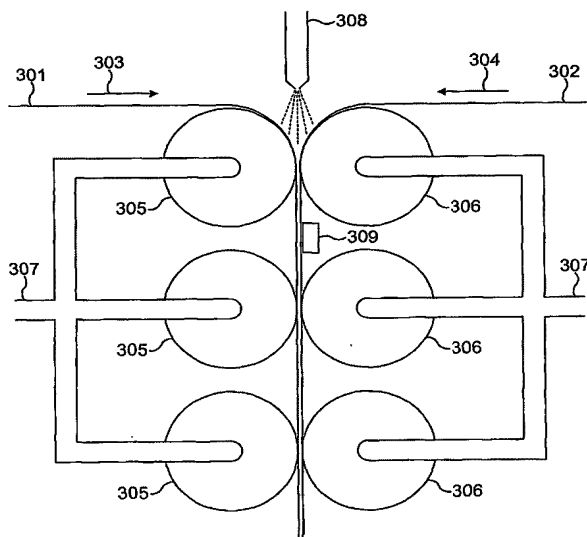
(73) Titular(es): G24 Innovations Limited

(72) Inventor(es): Anthony David Jones, Marcus Yalland

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

(86) Pedido Internacional: PCT GB2008000349 de  
04/02/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/093106de  
07/08/2008



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMAS DE CÉLULA FOTOVOLTÁICA**".

A presente invenção refere-se a sistemas de célula fotovoltaica, em particular a métodos para utilização em sua fabricação.

5 Em um tipo de sistema de célula fotovoltaica, um sistema de eletrodo primário e um sistema de contra-eletrodo juntos definem uma sequência de células conectadas em série, cada uma contendo eletrólito que é isolado de contato elétrico direto com eletrólito de células vizinhas. Durante a fabricação de um tal sistema é necessário depositar o material eletrólito para  
10 o interior de cada uma das células. Para conseguir desempenho ótimo do sistema é importante que a camada de eletrólito tenha uma espessura predefinida relativamente uniforme.

Tipicamente o material eletrólito está em uma forma líquida e pode ser relativamente viscoso. Conseqüentemente, seria desejável fornecer  
15 um método para fabricar um sistema de célula fotovoltaica no qual o eletrólito possa ser facilmente depositado dentro das células do sistema, ao mesmo tempo em que assegure que a espessura requerida da camada de eletrólito foi conseguida.

De acordo com a presente invenção é fornecido um método de  
20 fabricar um sistema de célula fotovoltaica do tipo que compreende um sistema de eletrodo primário e um sistema de contra-eletrodo que definem juntos uma sequência de células conectadas em série, cada uma contendo eletrólito que é isolado de contato elétrico direto com o eletrólito das células vizinhas, o método compreendendo: (a) depositar eletrólito para o interior das  
25 células e, b) sensoriar o nível de eletrólito depositado.

Sensoriando o nível de eletrólito depositado desta maneira, a presente invenção assegura que a espessura desejada de eletrólito nas células foi conseguida, de modo que o desempenho do sistema resultante é otimizado com relação a isto.

30 Preferivelmente o nível de eletrólito em cada célula é sensoriado de maneira independente. O nível de eletrólito pode ser sensoriado de maneira conveniente utilizando um ou mais sensores colorimétricos óticos.

Alternativamente ou em adição, o nível de eletrólito pode ser sensoriado utilizando um ou mais sensores óticos reflexivos.

O método pode ainda compreender controlar a velocidade de deposição do eletrólito na dependência do nível sensoriado de eletrólito. Por exemplo, se o nível sensoriado de eletrólito é muito baixo em um dado momento, a velocidade de deposição do eletrólito pode ser aumentada para corrigir o nível de eletrólito. Da mesma maneira, se o nível de eletrólito sensoriado é muito elevado, a velocidade de deposição pode ser reduzida de acordo.

Preferivelmente o eletrólito é depositado utilizando um distribuidor respectivo separado para cada célula. O eletrólito pode ser depositado utilizando uma ou mais válvulas dosadoras controladas por solenóide.

Cada célula no dito um sistema de eletrodo pode ser definida por um par respectivo de trilhas isolantes. Por exemplo, cada trilha isolante pode compreender um adesivo de fusão a quente que serve adicionalmente para aderir juntos o sistema de eletrodo primário e o sistema de contra-eletrodo. Cada trilha isolante pode, adicionalmente, compreender uma fibra isolante. Alternativamente ou em adição, cada trilha isolante pode ainda compreender uma pluralidade de esferas de vidro que servem para definir o espaçamento entre o sistema de eletrodo primário e o sistema de contra-eletrodo.

Modalidades preferidas da presente invenção serão descritas agora com referência aos desenhos que acompanham, nos quais:

a figura 1 ilustra o processo global para fabricar uma célula fotovoltaica;

a figura 2 ilustra o processo para fabricar um sistema de eletrodo primário do sistema de célula fotovoltaica.

a figura 3 ilustra o processo envolvido em gravar um desenho sobre uma tela de titânio do sistema de eletrodo primário;

a figura 4 ilustra o trajeto da tela de titânio do eletrodo primário por meio dos roletes de gravação;

a figura 5 ilustra os respectivos perfis macho (levantado) e fêmea (recuado) dos roletes de gravação que produzem as projeções peque-

nas quase esféricas sobre a tela de titânio do sistema de eletrodo primário, quando vistas ao longo dos eixos dos roletes;

a figura 6 ilustra o processo para limpar a tela de titânio do sistema de eletrodo primário;

5 a figura 7 é uma vista em seção transversal de aparelho para limpar a tela de titânio gravada;

a figura 8 ilustra o processo para revestir a tela de titânio com dióxido de titânio;

10 a figura 9a é uma vista explodida de uma cabeça de extrusão utilizada para revestir a tela de titânio com ambos, dióxido de titânio e um material corante;

a figura 9b é uma vista explodida de uma modalidade alternativa de uma cabeça de extrusão que tem dois furos de suprimento;

15 a figura 10 ilustra o trajeto de escoamento de pasta de dióxido de titânio ou de material corante quando a tela de titânio é direcionada depois da extrusora;

a figura 11 ilustra um arranjo para aplicar pressão a uma cabeça de extrusão;

20 a figura 12 ilustra a limpeza de uma tela de titânio revestida por meio de um laser;

a figura 13 ilustra o processo de revestir a camada de dióxido de titânio sobre a tela de titânio com um corante baseado em rutênio;

a figura 14 ilustra um arranjo para aplicar uma camada de corante à tela de titânio revestida;

25 a figura 15 ilustra os estágios finais na fabricação do sistema de eletrodo primário de acordo com uma modalidade da presente invenção;

as figuras 16a e 16b ilustram primeiro e segundo tipos alternativos de dispositivo de tensionamento dinâmico para utilização no arranjo da figura 15;

30 a figura 17 ilustra os estágios finais na fabricação do sistema de contra- eletrodo de acordo com uma modalidade da presente invenção;

a figura 18 ilustra como o sistema de eletrodo primário e o sis-

tema de contra-eletrodo são unidos juntos de acordo com uma modalidade da presente invenção;

as figuras 19a até 19c são vistas em seção transversal do sistema de célula fotovoltaica de acordo com uma modalidade preferida da presente invenção em diferentes estágios na fabricação;

a figura 20 ilustra como o sistema de eletrodo primário e o sistema de contra-eletrodo são unidos juntos de acordo com outra modalidade da presente invenção;

a figura 21 é uma vista em seção transversal do processo de laminação final;

a figura 22a ilustra como uma conexão elétrica externa é feita a um sistema de célula fotovoltaica de acordo com a modalidade preferida da presente invenção;

a figura 22b é uma vista em seção transversal em X-X de uma porção da conexão elétrica mostrada na figura 22a;

a figura 23a é uma vista em seção transversal explodida de uma porção de duas células adjacentes do eletrodo primário e sistemas de contra-eletrodo antes de montagem;

a figura 23b é uma vista em seção transversal de uma porção de duas células adjacentes do eletrodo primário montado laminado do sistema de contra-eletrodo;

a figura 24 é uma vista em seção transversal que mostra as dimensões dos componentes do sistema de célula fotovoltaica montado de acordo com uma modalidade preferida da presente invenção;

a figura 25 mostra a aparência global do sistema de célula fotovoltaica montado;

a figura 26a é uma vista de um sintonizador de alinhamento fino para a posição de um rolete quando visto ao longo do eixo do rolete; e

a figura 26b é uma vista isométrica do rolete com o sintonizador de alinhamento fino.

Fazendo referência à figura 1, um processo para fabricar um sistema de células fotovoltaicas inclui um processo 100 para formar um sistema

de eletrodo primário; um processo 200 para formar um sistema correspondente de contra-eletrodo; um processo 300 para montar os dois sistemas de eletrodo com eletrólito entre eles, e um processo 400 para vedar as arestas dos sistemas de eletrodo montados e laminar o conjunto vedado.

5                    Em uma modalidade preferida o conjunto vedado resultante compreende onze pares de eletrodos de funcionamento e um par de eletrodos falsos na aresta lateral do sistema que é utilizado para estabelecer contatos elétricos externos. Preferivelmente o eletrólito não está presente entre o par de eletrodos falsos.

10                    A figura 2 ilustra em maior detalhe o processo 100 para formar o sistema de eletrodo primário. Existem cinco estágios separados neste processo: gravação 110, limpeza 120, revestimento 130 com dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), revestimento 140 com um corante baseado em rutênio que atua como o material absorvedor de luz no sistema de células fotovoltaicas e, corte  
15 em tiras 150 da tela revestida resultante e prender as tiras a um substrato isolante.

                      O aparelho utilizado no processo de gravação está ilustrado em maior detalhe na figura 3. Neste processo, um rolo de tela de titânio que tem uma espessura de 0,05 mm é desenrolado de um estágio de desenrolamen-  
20 to 111 que compreende duas unidades de desenrolamento separadas e fornecidas por meio de um mecanismo de aresta guia 112 para um estágio de soldagem 113 que é arranjado para soldar juntas a aresta dianteira de um rolo de tela de titânio e a aresta traseira de um rolo subsequente de tela de titânio. A tela de titânio é então fornecida para um estágio de gravação 118  
25 no qual a tela é gravada com um desenho de ondulações descrito em maior detalhe abaixo, e então a um estágio de corte 115 onde a tela de titânio é cortada substancialmente na mesma posição que a junção formada anteriormente no estágio de soldagem 113. A tela de titânio gravada é então alimentada através de outro mecanismo de aresta guia 116 até um estágio de  
30 reenrolamento 117 que reenrola a tela de titânio gravada sobre um conformador de papelão em uma ou duas unidades de reenrolamento separadas.

                      A razão para fornecer duas unidades de desenrolamento sepa-

radas, o estágio de soldagem 113, o estágio de corte 115 e duas unidades de reenrolamento separadas, é possibilitar que a gravação tenha lugar em uma tela contínua de titânio, sem requerer que cada rolo de tela de titânio seja alimentado manualmente através do estágio de gravação 114. Assim, a aresta traseira de um primeiro rolo de tela de titânio é soldada à aresta dianteira de um segundo rolo de tela de titânio no estágio de soldagem 113, e a tela é cortada na mesma posição quando a junção soldada em seguida chega no estágio de corte 115. Um terceiro rolo de tela de titânio é então ajustado à unidade de desenrolamento vazia, de modo que a aresta dianteira possa ser então soldada à aresta traseira do segundo rolo. Para permitir que a tela de titânio seja fornecida ao estágio de gravação em velocidade constante, mesmo durante o processo de soldagem um arranjo de acumulação de roletes é arranjado ao mesmo tempo a montante e a jusante do estágio de gravação 114. Contudo, em um arranjo alternativo, os arranjos de acumulação são eliminados e a velocidade do processo de gravação deixada variar.

O estágio de gravação 114 está mostrado em maior detalhe na figura 4. A tela de titânio 1141 é alimentada para um aperto definido por primeiro e segundo roletes de gravação 1142, 1143 ao longo da direção mostrada pela seta 1144 e em uma velocidade de aproximadamente 20 metros por minuto (0,33 metros por segundo). A dimensão do aperto é escolhida de modo a engatar a tela de titânio que tem uma espessura de 0,05 mm e é, portanto, selecionada para ser um valor preferivelmente dentro da faixa de 0,01 mm e 0,10 milímetro. Os roletes de gravação 1142, 1143 são formados com 48 linhas de desenhos de gravação para formar linhas paralelas correspondentes de ondulações sobre a tela de titânio 1141, embora somente algumas linhas estejam ilustradas na figura 4 para efeito de clareza. Como pode ser visto na figura 4, a tela de titânio 1141 ocupa somente metade da largura dos roletes de gravação 1142, 1143. A tela de titânio 1141 engata, portanto, com 24 das 48 linhas de desenhos de gravação. Este aspecto vantajoso possibilita aos roletes de gravação 1142, 1143 continuarem a ser utilizados em caso que um defeito ocorra no desenho de gravação de um lado de um ou de ambos os roletes 1142 e 1143. Um dispositivo para alinhar a

tela de titânio (não mostrado) é portanto fornecido de modo que no caso de tal defeito a tela possa simplesmente ser alinhada com outro lado do desenho de gravação, de modo que o processo de gravação pode continuar sem uma interrupção substancial no processo.

5           As superfícies dos roletes de gravação 1142, 1143 estão mostradas em maior detalhe na figura 5. A superfície do primeiro rolete de gravação 1142 é formada com um desenho de gravação elevado (macho) na forma de um sistema de projeções quase esféricas 1145, que são alinhadas com um desenho de gravação recuado (fêmea) na forma de um sistema correspondente de recessos quase esféricos 1146. A escala dos desenhos de gravação mostrados na figura 5 está exagerada em relação aos roletes de gravação 1142 e 1143 para efeito de clareza. Passando a tela de titânio 1141 entre os primeiro e segundo roletes de gravação 1142, 1143 um sistema de ondulações 1147 é formado sobre a tela de titânio 1141. As ondulações 1147 são formadas em um sistema retangular no qual o espaçamento entre ondulações adjacentes ao longo da direção de passeio da tela de titânio 1141 é substancialmente menor do que aquele ao longo da largura da tela de titânio. As ondulações 1147 são assim formadas em um número de linhas, nas quais as ondulações são espaçadas regular e tipicamente separadas por aproximadamente 1 mm, e as linhas são separadas por 12, 25 mmm. As ondulações 1147 servem como um dispositivo para estabelecer uma conexão elétrica entre os dois eletrodos de cada célula fotovoltaica dentro do sistema montado.

25           Antes que o processo de gravação seja iniciado, um comprimento de aproximadamente 15 metros de tela do cabeçalho de aço inoxidável é soldado à aresta dianteira de um primeiro rolo de tela de titânio e alimentado entre os roletes de gravação 1142, 1143 que, neste estágio, estão separados um do outro, para criar um comprimento contínuo de tela a jusante dos roletes 1142, 1143, para com isto impedir desperdício de tela de titânio não gravada 1141 que poderia de outra maneira estar presente nesta posição de jusante. O comprimento da tela do cabeçalho de aço inoxidável é governado pelo arranjo físico do estágio global de gravação 114 que inclui uma ponte

localizada a jusante dos roletes de gravação 1142, 1143 que fornece espaço para as duas unidades de reenrolamento separadas do estágio de reenrolamento 117. Na prática o comprimento da tela do cabeçalho é tipicamente entre 20 m e 30 m. Como descrito acima quando o primeiro rolo de tela de titânio está esgotado, a aresta traseira da tela do primeiro rolo é soldada à aresta dianteira do próximo rolo de tela de titânio no estágio de soldagem 113, de modo que uma vez iniciado, o processo de gravação é contínuo. Em operação, o estágio de soldagem 113 punciona um furo na tela na posição onde a extremidade traseira do primeiro rolo de tipo tela de titânio é soldado à aresta dianteira da próxima tela de titânio, e este furo é em seguida detectado por um sensor no estágio de corte 115 que, por sua vez, faz com que a tela de titânio seja cortada neste ponto e uma porção traseira de aço inoxidável seja soldada à extremidade traseira da tela de titânio. Assim, durante o processamento subsequente da tela de titânio existem ligadas à tela ao mesmo tempo, porções de tela dianteira e traseira de aço inoxidável.

Contudo, foi descoberto que o tratamento térmico subsequente da tela de titânio, descrito em maior detalhe abaixo, pode dar origem à flambagem da tela nas posições onde as porções de tela dianteira e traseira de aço inoxidável são soldadas à tela de titânio devido às diferentes taxas de expansão térmica dos dois metais.

Portanto, em um arranjo alternativo, em lugar das porções de tela de cabeçalho e traseira de aço inoxidável, porções de tela de cabeçalho e traseira da própria tela de titânio são utilizadas. Embora isto possa parecer desperdício de titânio oneroso, as porções de cabeçalho e traseira podem naturalmente ser reutilizadas, uma vez que elas sejam removidas da porção principal processada de cada rolo de titânio da tela ao final do estágio de processamento. Além disto, quando as porções de cabeçalho e traseira estão no final de sua vida útil, elas podem ser recicladas, por exemplo, derretendo e formando como uma nova tela.

Depois que a tela de titânio tenha sido gravada, a tela gravada é opcionalmente passada até um estágio de limpeza 120 mostrado em maior detalhe na figura 6. O estágio de limpeza serve para remover óleo, resíduos

e outros contaminantes, e compreende em sequência um desenrolador 121, uma aresta guia 122, uma unidade de limpeza 123, um secador de flutuação 124, uma aresta guia 125 e um reenrolador 126. Em operação a tela de titânio gravada é desenrolada e passada através da aresta guia 122 para o interior da unidade de limpeza 123. Fazendo referência à figura 7, a unidade de limpeza 123 compreende um banho 1231 de detergente líquido tal como aquele comercializado sob a marca comercial LiquiNox (RTM) e uma câmara de lavagem 1232. O banho 1231 e a câmara de lavagem 1232 são ambos aquecidos a 85°C. A tela de titânio gravada 1233 é guiada através do detergente no banho 1231 e sobre uma parede de separação 1234 para o interior da câmara de lavagem 1232. Água desionizada é então borrifada sobre a tela 1233 a partir de bocais de borrifo 1235 e é coletada na base da câmara de lavagem 1232 através de uma saída de drenagem 1236 para reutilização. Em algumas modalidades da invenção o estágio de limpeza 120 é omitido.

Para impedir contaminação cruzada, primeira e segunda fileiras de facas de ar 1237, 1238 são posicionadas respectivamente acima e abaixo do trajeto da tela 1233 a uma curta distância a montante da parede 1234 e estas servem para forçar qualquer resíduo de detergente sobre a tela 1233 de volta para o banho 1231.

A tela de titânio lavada 1233 é então imersa em um banho de etanol (não mostrado) e alimentada para uma unidade de flutuação 124 (ver figura 6) que seca a tela 1233. Na unidade de flutuação 124 um suprimento de ar aquecido até entre 80°C e 120°C é direcionado acima e abaixo da tela 1233 quando ela é mantida sob tensão entre dois roletes.

A tela de titânio seca é então alimentada através de uma aresta guia 125 até uma estação de reenrolamentos 126.

Fazendo referência novamente à figura 2, a tela de titânio gravada e limpa é então fornecida para uma estação de revestimento 130 para depositar uma camada de dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) sobre a tela de titânio, e isto está mostrado em maior detalhe na figura 8. Um desenrolador 131 fornece a tela através de uma aresta guia 132 para uma estação de extrusão 133 descrita em maior detalhe abaixo. Na estação de extrusão 133 uma pas-

ta baseada em água que contém o ( $\text{TiO}_2$ ) é extrudada sobre a tela a partir de um recipiente pressurizado e é depositada na forma de tiras que se estendem entre fileiras adjacentes de ondulações gravadas.

5 Em uma modalidade preferida a pasta contém (a) hidroxipropilcelulose (HPC) como um agente de espessamento, que tem a vantagem de decompor sem deixar um resíduo indesejável sobre a tela; um surfactante, por exemplo, como comercializado sob a referência TX-100 que reduz a tensão superficial da pasta, permitindo com isto que o  $\text{TiO}_2$  passe mais facilmente para as ranhuras das superfícies na folha de titânio; e um biocida para matar os bolores e fungos que são muitas vezes encontrados na presença de HPC. A espessura da pasta de  $\text{TiO}_2$  depositada sobre a tela depende da forma da cabeça de extrusão (e, em particular, da espessura do pente de extrusão, a serem descritos abaixo) da velocidade na qual a tela é movida depois da cabeça de extrusão, e da viscosidade da pasta.

10 15 A pasta de  $\text{TiO}_2$  é então seca em três estágios 134, 135, 136. O primeiro estágio 134 compreende um forno de infravermelho aquecido até aproximadamente  $60^\circ\text{C}$  que seca a pasta a partir do interior, impedindo com isso formação adversa de bolhas sobre a superfície do revestimento. Opcionalmente o primeiro estágio 134 ao invés disso compreende um secador de flutuação como descrito anteriormente com referência à figura 6. O segundo estágio 135 compreende um forno secador de flutuação no qual a tela é suspensa e seca por meio de radiação infravermelha e ar quente a uma temperatura de aproximadamente  $180^\circ\text{C}$ . O terceiro estágio 136 compreende um forno de sinterização infravermelho que faz com que o  $\text{TiO}_2$  a partir da pasta cole sobre a superfície da tela de titânio subjacente. A tela revestida então entra em um estágio de resfriamento 137 antes de ser alimentada através de uma aresta guia 138 para um reenrolador 139.

20 25 30 Os componentes da cabeça de extrusão de uma primeira modalidade estão mostrados em maior detalhe na figura 9a. A cabeça de extrusão 1331 compreende um corpo de extrusora de aço inoxidável 1332, um pente de extrusão de aço inoxidável 1333 e uma placa de cobertura de aço inoxidável 1334. Preso a cada extremidade do corpo de extrusora 1332 existem

respectivas placas extremas de aço inoxidável 1335 que são dotadas de gaxetas de vedação de politetrafluoroetileno (PTFE) 1336. O pente 1333 da cabeça de extrusão está ilustrado com apenas 10 canais de extrusão para efeito de clareza, embora na prática existam 24 canais na modalidade preferida. A extremidade distal de cada dedo do pente da extrusora 1333 é formado com um respectivo entalhe 1337 e estes entalhes são alinhados com ranhuras correspondentes 1338 em um lado do corpo de extrusora 1332. Estes permitem que as linhas gravadas de ondulação sobre a tela de titânio passem sobre a cabeça de extrusão 1331 sem depósitos. Eles também ajudam a corrigir a montagem da cabeça de extrusão. Um único furo de suprimento central 1339 formado no corpo de extrusora 1332 permite que a pasta de  $TiO_2$  passe para o interior de um de dois canais de suprimento 1340 formados no corpo de extrusora 1332.

Uma modalidade alternativa está mostrada na figura 9b. Nesta modalidade o pente de extrusão 1333, também mostrado com apenas 10 canais embora existam 24 na prática, é feito de um material plástico flexível tal como PTFE ou polietileno. Este é conformado para a forma desejada utilizando uma corrente de alta pressão de vapor d'água. Isto fornece qualidades de vedação aprimoradas contra vazamento da pasta de  $TiO_2$ , vez que o material resiliente utilizado para o pente 1333 compensa qualquer ligeira imperfeição no corpo da extrusora 1332 e placa de cobertura 1334.

Nesta modalidade dois ou mais furos de suprimento 1339 são posicionados de maneira simétrica ao redor de uma região central do corpo de extrusora 1332 em lugar do único furo de suprimento 1339 na modalidade da figura 9a. A provisão de furos adicionais de suprimento simetricamente colocados reduz as diferenças de pressão dentro da pasta de  $TiO_2$  e, portanto, fornece um maior grau de controle da espessura do revestimento de  $TiO_2$  aplicado. Será apreciado que este arranjo fornece duas vantagens separadas: a) as diferenças de pressão são reduzidas em virtude da distância reduzida viajada pela pasta de  $TiO_2$  quando comparada com o arranjo com somente um único furo de suprimento, uma vez que com dois furos a pasta é espalhada por somente metade da largura da cabeça de extrusão enquanto

que com somente um furo a pasta deve ser espalhada sobre toda a largura da cabeça de extrusão; e b) somente metade da quantidade de pasta passa para cada furo de suprimento 1339, e assim a velocidade de passeio é cortada pela metade e a diferença de pressão é reduzida.

5                   Adicionalmente, as gaxetas de PTFE 1336 da primeira modalidade são substituídas por gaxetas de cortiça emborrachadas 1336. Foi descoberto que a cortiça emborrachada aprimora a qualidade de vedação da gaxeta 1336, o que pode muitas vezes ser desejável no caso de corpo de extrusora de aço inoxidável 1332 e placas e extremas de aço inoxidável  
10 1335 que sofrem deformação plástica durante montagem.

Fazendo referência à figura 10, a direção de movimento da tela de titânio 1341 através da cabeça de extrusão 1331 está indicada pela seta 1342. A direção de escoamento da pasta de  $TiO_2$  dentro da cabeça de extrusão está indicada pela seta 1343 e a seta 1344 indica a direção de escoamento da pasta de  $v$  quando a pasta é transferida para a tela de titânio  
15 1341.

Em um arranjo preferido pressão é aplicada à cabeça de extrusão 1331 por meio de um grampo externo 1345 como ilustrado de maneira esquemática na figura 11, e o grau de compressão exercida sobre a cabeça  
20 de extrusão 1331 pelo grampo 1345 é controlado por um arranjo de parafuso de precisão na forma de um parafuso vernier 1346. Controlando de maneira precisa a pressão aplicada à cabeça de extrusão 1331 é possível por sua vez controlar a espessura de revestimento de  $TiO_2$  aplicado à folha de titânio: quanto maior a pressão aplicada mais fino o revestimento.

25                   Em uma modalidade preferida o grau de pressão exercida pelo grampo 1345 é controlado automaticamente na dependência da espessura sensoriada do revestimento em uma posição a jusante da cabeça de extrusão 1331. A espessura pode ser sensoriada óticamente, por exemplo, sensoriando a posição de um feixe de radiação tal como luz depois de reflexão  
30 na superfície do revestimento.

Foi descoberto que o processo de sinterização dá origem a uma camada indesejável de óxido sobre as regiões da folha de titânio entre as

trilhas de revestimento de dióxido de titânio. Uma vez que estas regiões incluem as ondulações gravadas, não é possível remover a camada de óxido por meio de técnicas de abrasão convencionais sem o risco de danificar as ondulações. Contudo, foi descoberto que o revestimento de óxido indesejável pode efetivamente ser removido varrendo um feixe de laser de alta energia através da superfície das regiões onde o óxido deve ser removido. A precisão que é fornecida por tal limpeza a laser permite remoção da camada de óxido indesejável sem afetar as trilhas do revestimento de dióxido de titânio. Além disto, este método é limpo, uma vez que ele não deixa resíduo na superfície da folha de titânio, o que poderia, de outra maneira, requerer remoção. O laser pode adicionalmente ser utilizado para aplicar uma marcação à superfície traseira da folha de titânio para finalidades de controle de qualidade.

O arranjo está ilustrado na figura 12. Um laser 1391 é montado acima do trajeto indicado pela seta 1392 da tela de titânio revestida 1393. A tela compreende trilhas 1394 que foram revestidas com dióxido de titânio e trilhas de intervenção 1395 que contém as ondulações gravadas que foram, de maneira indesejável, revestidas com uma camada de dióxido de titânio durante o processo de sinterização. O laser 1391 direciona um feixe de radiação ao longo de uma linha de varredura 1396, porém de tal modo que somente as trilhas de intervenção 1395 que contém as ondulações gravadas são irradiadas. Isto é conseguido seja varrendo o feixe laser através de toda a largura da tela utilizando ou uma cabeça de varredura ou um divisor de feixe, e modulando a intensidade de acordo, ou direcionando o feixe de laser somente nas trilhas de intervenção 1395 tal como por meio de um arranjo de fibra ótica. Em qualquer caso a energia e frequência do feixe de laser são selecionados e/ou controlados de tal modo que a radiação é capaz de cortar a camada de óxido da superfície da tela de titânio 1393, e as trilhas de intervenção resultantes limpas 1397 podem ser vistas à jusante do feixe de laser na figura 12.

Em um arranjo alternativo, toda a superfície da folha de titânio é revestida com pasta de dióxido de titânio utilizando uma cabeça de extrusão

simples, e então secada utilizando os mesmos três estágios como descrito acima. As trilhas são então definidas pela remoção do dióxido de titânio das regiões entre as trilhas, utilizando um laser de alta energia. Este arranjo tem a vantagem de não requerer uma cabeça de extrusão com uma estrutura complexa, embora venha ser apreciado que uma maior quantidade de pasta de dióxido de titânio seria requerida para revestir toda a superfície superior da folha de titânio. Em uma modalidade preferida, a largura de cada trilha de revestimento de dióxido de titânio é 9,0 mm e a separação entre cada par de tiras adjacentes é 3,5 mm, de modo que a quantidade adicional da pasta de titânio nesta modalidade iria montar a cerca de 40%.

Fazendo referência à figura 13, um revestimento que contém corante de rutênio é então aplicado à tela de Ti revestida com  $\text{TiO}_2$ . Um desenrolador 141 fornece a tela de Ti revestida com  $\text{TiO}_2$  através de uma aresta guia 142 para uma estação de revestimento com corante 143. Em uma modalidade a tela de Ti é então passada através de duas unidades de vácuo 144 que secam o revestimento de corante, até um primeiro banho 145 que limpa a tela de maneira ultrassônica e então para um segundo banho 146 que contém um solvente de limpeza. Em outra modalidade as unidades de vácuo 144, o banho ultrassônico 145 e o banho de solvente 146 são eliminados. Ao invés disto, a tela de Ti é passada para o interior de uma área de embebição onde o corante é deixado infiltrar ou embeber o revestimento de  $\text{TiO}_2$  e então até um banho de lavagem agitado onde corante em excesso é removido.

Uma unidade de flutuação 147 então seca a tela utilizando o mesmo princípio descrito acima com referência ao secador de flutuação 124 (ver figura 6). A folha revestida seca é então alimentada através de uma aresta guia 148 para um reenrolador 149.

Seria possível aplicar o revestimento à tela de titânio revestida com  $\text{TiO}_2$  utilizando uma cabeça de extrusão que é idêntica àquela utilizada para aplicar a pasta de  $\text{TiO}_2$  à tela de Ti, caso em que a estação de revestimento com corante 143 seria substancialmente idêntica à estação de extrusão 133.

Contudo, tendo em vista o perigo apresentado pelos solventes voláteis e explosivos do corante é preferido que o corante seja aplicado utilizando dois sistemas lineares de válvulas dosadoras controladas com precisão, como mostrado na figura 14.

5 Fazendo referência à figura 14, a tela de titânio 1431, que é revestida com tiras de dióxido de titânio 1432, é feita para passar na direção indicada pela seta 1433 depois de uma estação de revestimento de corante 1434 que compreende uma pluralidade de válvulas dosadoras controladas com solenóide 1435 arranjadas em dois sistemas lineares 1436, 1437. Na  
10 figura 14, 24 válvulas dosadoras estão mostradas, porém em uma modalidade preferida 22 válvulas dosadoras são fornecidas. Uma fonte de corante é fornecida para cada uma das 22 válvulas 1435 que, por sua vez, aplicam o corante à região central de cada uma das tiras de dióxido de titânio 1432. O corante é absorvido para o dióxido de titânio e com isto espalha através de  
15 toda a largura de cada tira de dióxido de titânio 1432, embora seja possível controlar o espalhamento ajustando a separação entre a agulha da válvula dosadora e a tela revestida 1431.

As válvulas dosadoras 1435 podem ser válvulas de diafragma. A extremidade de cada válvula 1435 compreende uma agulha que é cortada  
20 em um ângulo – ou corte em diagonal (slash-cut) e isto é particularmente vantajoso na presente aplicação. Para que todas as 22 válvulas 1435 sejam localizadas em dois sistemas lineares através da tela de titânio revestida 1431, as válvulas 1435 são arranjadas em um ângulo com a tela 1431 com válvulas alternativas em cada um dos dois sistemas, por exemplo 1435a  
25 sendo orientadas em uma direção de jusante e as válvulas de intervenção, por exemplo 1435b orientadas em uma direção de montante. Além disto, um corte angular da extremidade da agulha de cada válvula 1435 possibilita a abertura de cada agulha ser localizada substancialmente paralela a e a uma pequena distância acima da tela revestida 1431.

30 A velocidade na qual o corante é feito passar através de cada válvula 1435 é controlada por meio de (a) a pressão na qual o corante é fornecido para cada válvula 1435, e (b) um ajustamento de vernier manual feito

nas válvulas 1435. A velocidade pode também ser controlada selecionando o calibre das agulhas utilizadas com cada válvula. A utilização de agulhas substituíveis é particularmente útil ao utilizar corantes de diferentes viscosidades.

5 Quando a tela é guiada através dos processos de revestimento, a tela é mantida em uma tração por unidade de largura da tela de 346 N/m. Isto foi descoberto ser adequado para controlar o movimento da tela, mas ainda não suficiente para fazer com que o revestimento rache. Em aplicações típicas nas quais a largura da tela é 0,306 m a tração real aplicada é  
10 106 N.

A aresta guia 142 (ver figura 13) que é localizada a montante do revestidor de corante 143 é uma guia passiva, puramente mecânica, na forma de um par de rodas guia fixadas sobre o rolete que transporta a tela no sentido do revestidor de corante 143. A posição lateral do rolete é ajustada  
15 por meio de um gabarito de parafuso micrométrico.

As arestas guia referidas acima e abaixo podem tomar uma de duas formas, seja um arranjo puramente mecânico como descrito acima, ou um sistema servoenergizado eletricamente, no qual qualquer desalinhamento de uma ou de ambas as arestas da tela é sensoriado, e o sinal resultante  
20 é realimentado para um motor elétrico que realinha a tela.

A razão para fornecer uma aresta guia puramente mecânica 142 a montante do revestidor de corante 143 é eliminar o risco de incêndio e/ou explosão que poderia surgir se a aresta guia 142 fosse energizada eletricamente.

25 Será apreciado que o processo de limpeza com laser descrito acima com referência à figura 12 poderia ser aplicado antes ou depois que a tela tenha passado através da estação de revestimento com corante.

Os próximos estágios na fabricação do sistema de eletrodo primário estão ilustrados na figura 15. A tela de titânio revestida 151 é transportada  
30 ao longo de uma direção indicada pela seta 152 até uma cabeça de corte 153 que compreende um sistema linear de 23 lâminas cortadoras rotativas arranjadas para cortar a tela de titânio revestida 151 em 24 tiras

154, cada uma tendo uma largura de 12,25 mm, que irão formar os eletrodos primários no sistema de célula fotovoltaica resultante. Contudo, antes que comece o processo de corte, 23 fendas longitudinais iniciais são cortadas manualmente através da largura da folha de titânio revestida 151 nas 23 posições laterais desejadas, utilizando uma ferramenta punção. Isto foi descoberto superar a tendência das lâminas de corte flexíveis se afastarem de sua posição lateral desejada. As arestas de cada uma das 24 tiras resultantes 154 consistem em titânio não revestido e cada tira 154 tem uma linha respectiva de ondulações gravadas que correm adjacentes a uma de suas duas arestas.

As tiras 154 são então fornecidas para primeiro e segundo roletes guia cilíndricos 155, 156, cada um dos quais é perfilado de modo a definir 24 canais paralelos espaçados para guiar as respectivas 24 tiras 154 da tela de titânio revestida. Embora o espaçamento entre cada par adjacente de canais seja somente 0,25 mm, será apreciado que isto não obstante dá origem a uma diferença em comprimento de trajeto entre as tiras as mais exteriores e as tiras as mais interiores. Para superar este problema um dispositivo de tensionamento dinâmico 157 é fornecido entre os primeiro e segundo roletes guia 155, 156 isto serve à função dupla de: a) definir um comprimento de trajeto maior entre a cabeça de corte 153 e o segundo rolete guia cilíndrico 156 para aquelas tiras 154 que foram cortadas a partir do centro da folha de titânio revestida do que para aquelas tiras que foram cortadas a partir das arestas, e b) aplicar substancialmente a mesma tensão a cada uma das 24 tiras 154.

O dispositivo de tensionamento dinâmico 157 pode assumir uma de duas formas diferentes. No primeiro arranjo, ilustrado na figura 16a, o dispositivo 157 compreende um sistema linear de 24 dançarinos controlados de maneira independente 1571 suportados abaixo de uma estrutura 1572 e que são deslocados verticalmente para baixo, isto é, na direção indicada pela seta 1573. Cada dançarino 1571 compreende um atuador semicircularmente cilíndrico 1574 feito de PTFE, com a parte circular voltada para baixo e, portanto, em uma posição para contatar a superfície superior das tiras

154 da tela de titânio revestida. Cada dançarino 1571 ainda compreende uma mola de compressão 1575 cuja força de deslocamento é ajustada por meio de primeiro parafuso 1576. Além disto, o comprimento do curso do dançarino, isto é, a distância vertical máxima sobre a qual ele pode mover, é  
5 ajustado por meio de um segundo parafuso 1577 que prende o dançarino 1571 a uma estrutura 1572. A altura da estrutura 1572 é controlada de maneira pneumática que possibilita que a tensão global aplicada às 24 tiras 154 da tela de titânio revestida seja ajustada.

No segundo arranjo ilustrado na figura 16b, cada um dos 24  
10 dançarinos 1571 descritos acima com referência à figura 16a foi substituído por um respectivo elemento de tensionamento 1578 que compreende uma roda de plástico 1579 suportada para rotação abaixo de um braço 1580 que é ele próprio arranjado para pivotar ao redor de um eixo 1581 que define um eixo pivô 1582. Tensão é aplicada por meio de um peso 1583 preso à super-  
15 fície superior do braço 1580 em sua distância perpendicular máxima a partir do eixo pivô 1582 de modo a maximizar o movimento aplicado. Com este arranjo, uma vez que a roda 1579 é feita girar pelo movimento de uma das tiras 154 da tela de titânio revestida, existe atrito mínimo entre a superfície da roda 1579 e a tira 154, com isto reduzindo a probabilidade de ambos: a)  
20 dano à tira 154 e desgaste da superfície da roda 1579. Além disto, uma vez que o braço 1580 está livre para pivotar ao redor de um eixo horizontal é improvável haver qualquer dano ao dispositivo de tensionamento dinâmico 157 provocado pela tendência de a tira móvel 154 aplicar uma força ao dis-  
25 positivo 157 ao longo da direção de passeio da tira 154, uma vez que tal força poderia simplesmente fazer com que o dispositivo 157 pivote ao redor do eixo 1582.

Fazendo referência novamente à figura 15, as tiras de titânio revestidas cortadas 154 são então transportadas com as ondulações gravadas voltadas para cima, para um aperto definido entre dois roletes 158, 159.  
30 Uma tela 160 de polietileno tereftalato (PET) a partir de um rolo 161 é também fornecida para o aperto em uma posição abaixo das tiras de titânio revestidas cortadas 154 que irão formar um substrato do sistema de eletrodo

primário. A tela PET 160 é pré-formada com quatro fileiras de furos alongados arredondados de 162,5 mm em largura e 20 mm em comprimento, e que são posicionados ao longo da largura da tela, de tal modo que eles estão em nível com a 1ª, 12ª, 13ª, e 24ª tiras 154 da folha de titânio revestida, de modo a expor porções destas tiras 154 no sistema de célula fotovoltaica final, o que irá permitir uma conexão elétrica direta ser estabelecida diretamente à folha de titânio exposta em cada aresta lateral do sistema de célula fotovoltaica acabado. A tela PET160 carrega uma camada de adesivo térmico, de modo que as tiras 154 são comprimidas contra o adesivo térmico pelos roletes 158, 159. Os roletes 158, 159 são aquecidos de modo a ativar o adesivo térmico para aderir as tiras 154 à tela PET 160. As tiras 154 são com isto presas à tela PET subjacente 160 com o espaçamento entre pares adjacentes de tiras 154 mantidos a 0,25 mm, que irão formar uma trilha isolante no sistema de eletrodo primário que separa os respectivos eletrodos primários dentro do sistema.

Em um arranjo alternativo os roletes canelurados descritos acima com referência à figura 15 são substituídos por um rolete que é formado por uma superfície convexa quando visto ao longo da direção perpendicular ao eixo do rolete. Neste arranjo, o perfil de superfície do rolete faz com que as tiras 154 da tela de titânio revestida se tornem espaçadas lateralmente uma da outra e também impede tensões diferenciais que surgem nas tiras 154. As tiras cortadas 154 são então alimentadas para um rolete guia que é formado com uma série de cristas verticais de aproximadamente 2 mm de altura que servem para reter as tiras cortadas 154 em uma posição lateral desejada antes de serem depositadas sobre o substrato PET subjacente 160.

A estrutura resultante do sistema de eletrodo primário está ilustrada na metade inferior da figura 23a para ser descrita em maior detalhe abaixo, na qual cada par adjacente de tiras da camada de titânio revestida 501 é separada por um espaço isolante 503 que é adaptado adjacente às linhas de ondulações gravadas 502. Como pode ser visto da figura 23b que ilustra ao mesmo tempo o sistema de eletrodo primário e o sistema de con-

tra-eletrodo montados para formar o sistema de célula fotovoltaica, as ondulações servem à função dupla de definir a separação entre os eletrodos primários e contra-eletrodos e estabelecer uma conexão elétrica entre os eletrodos no sistema de célula fotovoltaica montado.

5 O processo para formar o sistema de contra-eletrodo está mostrado na figura 17. Uma tela 201 de naftalato de polietileno (PEN) que é revestida com uma camada condutora, por exemplo, de óxido de estanho e índio (ITO) é transportada de um rolo de suprimento 202 é guiada depois de uma fileira de 24 pinos de raspagem 203 que são feitas de tungstênio e formados com pontas de carbureto de tungstênio e que são aquecidos a  
10 150°C. Estes pinos 203 servem para raspar a superfície da camada PEN revestida de modo a remover o revestimento ITO e com isto expor o substrato PEN subjacente ao longo de 24 linhas paralelas que são espaçadas separadas por uma distância de 12,50 mm, que é a largura de cada célula do sistema de célula fotovoltaica final, de tal modo que existe uma única linha na  
15 mesma posição dentro de cada célula. Estas linhas servem como trilhas isolantes como indicado pelo numeral de referência 510 nas figuras 23a e 23b a serem descritas em maior detalhe abaixo.

Fibras isolantes 204 são então depositadas sobre o substrato  
20 PEN revestido raspado 201. As fibras 204 são fornecidas a partir de um sistema 205 de 4 x 12 de 48 bobinas 206 sobre cada uma das quais é enrolado um suprimento de fibra isolante 204. Cada fibra 204 é preferivelmente feita de um material aramid, por exemplo, um material sintético para-aramid comercializado sob o nome comercial Kevlar (RTM), revestido com um adesivo  
25 polimérico termoplástico de fusão a quente resinoso. O núcleo de para-aramid de cada uma das 48 fibras 204 constitui o número de filamentos separados e tem um diâmetro de 50 µm. O revestimento de resina de 24 das fibras 204 tem uma espessura de 100 µm enquanto a espessura do revestimento das 24 fibras restantes 204 é 50 µm, de modo que os diâmetros ex-  
30 ternos resultantes dos dois tipos de fibra revestida 204 são 150 µm e 250 µm, respectivamente.

A tela raspada 201 é fornecida, juntamente com as 48 fibras iso-

lantes 204 para uma cabeça de alinhamento de fibra 207 na qual cada uma das 48 fibras 204 é alinhada lateralmente entre um respectivo par de pinos guia (não mostrado) na posição lateral apropriada para deposição sobre o substrato PEN revestido subjacente. As fibras 204 são depositadas em pares, a separação entre as fibras 204 em cada par sendo substancialmente menor do que o espaçamento entre pares adjacentes. Tipicamente a separação entre as fibras 204 em cada par é aproximadamente 1 mm, enquanto o espaçamento entre pares adjacentes é aproximadamente 12,5 mm. As 24 fibras revestidas 204 que têm um diâmetro exterior menor são depositadas diretamente sobre as 24 linhas raspadas no substrato PEN e as 24 fibras revestidas 204 com os diâmetros exteriores maiores são formadas em linhas paralelas que correm proximamente adjacentes às fibras menores 204.

As fibras alinhadas 204 são então feitas passar abaixo de uma fileira de quatro facas de ar quente 208 que direcionam ar aquecido entre 80°C e 150°C sobre as fibras 204. As fibras aquecidas 204 são então fornecidas para um aperto definido entre dois roletes aquecidos 209, 210 que derretem o revestimento de resina adesiva, e com isto colam as fibras 204 ao substrato PEN revestido.

A função das facas de ar quente 280 preaquecer as fibras 204 de modo que a resina adesiva possa ser mais facilmente derretida pelos roletes aquecidos 209, 210.

Em uma modalidade alternativa bocais de ar são utilizados ao invés de facas de ar.

As fibras irão formar espaçadores isolantes entre os sistemas de eletrodos primários e contra-eletrodo no sistema de célula fotovoltaica final, como pode ser visto mais claramente nas figuras 23a e 23b a serem descritas em maior detalhe abaixo, nas quais a fibra de diâmetro menor 508 é mostrada na posição alinhada com a linha de isolamento raspada 510 no PEN sobre o substrato isolante 506 e a fibra de diâmetro maior 509 corre paralela a ela. No sistema de célula fotovoltaica as duas fibras dentro de cada par correm ao longo de cada lado de uma respectiva linha das ondulações gravadas formadas nos eletrodos primários.

O substrato PEN revestido com as fibras presas é então cortado para a largura desejada por meio de uma ou mais selecionadas de uma fileira de dez cabeças de corte operadas hidráulica e igualmente espaçadas (não mostrado). A largura desejada representa o número de células fotovoltaicas requerido no sistema final. O sistema de contra-eletrodo acabado é então enrolado sobre um rolo em uma estação de reenrolamento.

Neste estágio a fabricação do eletrodo primário separado e do sistema de contra-eletrodo está completa. Os dois sistemas de eletrodo são agora unidos juntos e os canais resultantes definidos entre os dois sistemas de eletrodo são cheios com eletrólito, como será descrito agora com referência à figura 18.

Para unir juntos os dois sistemas de eletrodo, o sistema de eletrodo primário 301 e o sistema de contra-eletrodo 302 são transportados nas respectivas direções indicadas pelas setas 303, 304 até o topo de um trajeto vertical definido entre três pares de roletes que são opostos 305, 306 que são aquecidos alimentando um suprimento de óleo aquecido para um canal 307 dentro de cada um dos roletes 305, 306. Um de cada par de roletes 305, 306 tem uma superfície emborrachada resiliente. Ao mesmo tempo um suprimento de eletrólito líquido é injetado a partir de uma fileira de bocais 308 para o interior dos canais definidos entre respectivos pares de fibras do contra-eletrodo que estão agora entre o sistema de eletrodo primário 301 e o sistema de contra-eletrodo 302. Em um exemplo 22 bocais são fornecidos. Seria possível suprir todos os 22 bocais com o eletrólito utilizando uma única bomba peristáltica. Contudo, tal arranjo não permite que o escoamento de eletrólito a partir de cada bocal 308 para seu respectivo canal seja controlado de maneira independente. Os bocais 308 são, portanto, formados a partir de uma ou mais fileiras de válvulas dosadoras controladas por solenóide, similares àquelas utilizadas na estação de revestimento com corante descritas acima com referência às figura 14. O nível do eletrólito dentro dos 22 canais é sensoriado utilizando uma fileira de 22 sensores óticos reflexivos 309 localizados a jusante das válvulas dosadoras 308 e o sinal de saída dos sensores óticos 309 é utilizado para controlar a vazão do eletrólito para o

interior dos canais. Controle do escoamento do eletrólito para o interior de cada canal é efetuado controlando de maneira independente a quantidade de eletrólito liberada de cada uma das 22 válvulas dosadoras. Contudo, a velocidade global na qual os canais são cheios também pode ser controlada ajustando a velocidade na qual os dois sistemas de eletrodo 301, 302 são transportados entre os três pares de roletes 305, 306.

As superfícies de cada par de roletes 305, 306 são formadas com cristas opostas que são posicionadas em relação às telas de eletrodo 301, 302 de tal modo que os pares de fibras revestidas são comprimidos entre as cristas opostas para com isto provocar o revestimento de adesivo de resina sobre as fibras e se conformar à forma da estrutura de eletrodo primário, como pode ser visto mais claramente das figuras 23a e 23b.

Em um arranjo alternativo, as 48 fibras isolantes revestidas são depositadas sobre o sistema de eletrodo primário ao invés de o sistema de contra-eletrodo. Neste arranjo o sistema de eletrodo-primário é fornecido juntamente com as 48 fibras a um aperto definido entre dois roletes que são aquecidos, que derretem o revestimento de resina adesiva e ligam as fibras à tela de titânio em suas respectivas posições ao longo de pares de linhas paralelas que correm de cada lado das linhas das ondulações gravadas. Como com o arranjo descrito acima no qual as fibras são depositadas sobre o sistema de contra-eletrodo, um sistema linear de facas de ar quente é arranjado para direcionar ar quente sobre as fibras imediatamente a montante do aperto, e serve para preaquecer as fibras de modo que a resina adesiva pode mais facilmente ser derretida pelos roletes aquecidos. A estrutura resultante do sistema de eletrodo-primário 171 está mostrada na figura 19a, na qual pode ser visto que o revestimento das fibras isolantes 172, 173 derreteu parcialmente de modo que a mais fina das duas fibras 172 em cada par de fibras é firmemente aderida à tira de tela de titânio subjacente 174 e a mais espessa das duas fibras 173 corre ao longo da trilha de isolamento 175 formada no eletrodo-primário 171 entre as extremidades das tiras de titânio 174 e firmemente aderida a ambas as regiões extremas das tiras de titânio adjacentes subjacentes 174 e também ao substrato PET 176. Cada par adjacen-

te de fibras 172, 173 é depositado em linhas que correm de cada lado de uma linha respectiva de ondulações gravadas 177.

Com este arranjo o eletrólito é depositado nos canais formados entre pares alternados de fibras isolantes revestidas 172, 173 quando o eletrodo primário é orientado horizontalmente em um processo ilustrado na figura 20. Neste arranjo o sistema de eletrodo primário 171 é transportado de um rolo de suprimento 178 até uma estação de enchimento de eletrólito 179 na qual o eletrólito é depositado sobre o sistema de eletrodo primário 171 quando em uma orientação horizontal. O eletrólito é fornecido a partir de 22 das válvulas dosadoras controladas por solenóide, arranjadas em um ou mais sistemas lineares similares àqueles descritos acima com referência à figura 14. Uma vez que o sistema de eletrodo primário 171 é horizontal, o eletrólito irá, sob gravidade, encher os canais entre pares alternados de fibras revestidas. Durante o processo de enchimento o nível do eletrólito dentro dos 22 canais é sensoriado utilizando uma fileira de 22 sensores colorimétricos óticos 180 localizados a jusante da estação de enchimento de eletrólito 179 na direção de transporte do sistema de eletrodo primário 171. Os sensores 180 respondem à condição em que eles são arranjados para detectar uma mudança de colorido que ocorre tão logo as camadas de dióxido de titânio revestidas com corante dentro do sistema de eletrodo primário são cobertas com o eletrólito. O controle da velocidade de deposição de eletrólito é conseguido ajustando cada um ou ambos de: a) a vazão de eletrólito e b) a velocidade na qual o sistema de eletrodo primário é transportado através da estação de enchimento de eletrólito 179. A estrutura do sistema de eletrodo primário 171 imediatamente depois do enchimento com o eletrólito está ilustrada na figura 19b, onde pode ser visto que o eletrólito 181 preenche os canais definidos entre pares alternativos das fibras isolantes 172, 173.

O sistema de contra-eletrodo 182 é formado a partir de uma tela de polietileno naftalato (PEN) que é revestida com uma camada condutora, por exemplo, de óxido de estanho e índio (ITO), e este é transportado a partir de um rolo de suprimento 182 depois de um sistema linear 184 de 24 pinos de raspar idênticos àqueles em um arranjo descrito acima, para criar 24

trilhas isoladas paralelas. O sistema de contra-eletrodo raspado 182 é então transportado juntamente com o sistema de eletrodo primário cheio de eletrólito 171 até um aperto definido entre um primeiro par de roletes que são aquecidos 1831, 1841 que fazem com que os dois sistemas de eletrodo 171, 182 se tornem vedados juntos. Alinhamento entre o sistema de eletrodo primário 171 e o sistema de contra-eletrodo 182 é conseguido utilizando arestas guias mecânicas do tipo descrito acima. Embora neste caso o sistema de eletrodo primário 171 já seja formado com as fibras revestidas 172, 173, alinhamento entre os dois sistemas de eletrodo 171 e 182 é ainda necessário para alinhar as 24 trilhas isolantes 185 formadas sobre o sistema de contra-eletrodo 182 com as correspondentes 24 fibras mais finas 172 no sistema de eletrodo-primário 171. Isto é conseguido neste arranjo montando um sistema de pinos de raspar 179 e uma estrutura (não mostrado), à qual a estação de enchimento de eletrólito 179 também é presa de tal modo que o alinhamento relativo do sistema de eletrodo primário 171 e o sistema de contra-eletrodo 182 seja menos crítico. Os sistemas de eletrodo vedados 171 e 182 são então transportados entre um segundo par de roletes 186, 187 que comprimem os dois sistemas de eletrodos 171, 182 juntos por uma quantidade que dá origem ao espaçamento desejado entre os dois sistemas de eletrodos 171, 182. Preferivelmente os dois sistemas de eletrodo são posicionados tão próximo um do outro quanto possível, porém não tão próximo de modo a provocar curto-circuito entre os sistemas de eletrodo 171 e 182 através do eletrólito. O segundo par de roletes 186, 187 serve também para forçar qualquer excesso de eletrólito ao longo dos respectivos canais na direção de montante de movimento dos sistemas de eletrodos 171, 182. A estrutura final do conjunto de eletrodo está ilustrada na figura 19c, onde pode ser visto que a camada ITO condutora 188 do sistema de contra-eletrodo 182 está em contato elétrico direto com uma das ondulações gravadas 177 do sistema de eletrodo primário 171 e as fibras isolantes revestidas 172, 173 servem para reter o eletrólito dentro dos canais predefinidos, e portanto isolado da região das ondulações gravadas 177.

Em ainda outro arranjo, as 24 mais espessas das 48 fibras são

depositadas diretamente sobre as trilhas isolantes formadas no sistema de eletrodo primário e as 24 mais finas das 48 fibras são depositadas diretamente sobre as trilhas isolantes formadas no sistema de contra-eletrodo. O método de deposição das respectivas fibras é como descrito acima. Com este arranjo a facilidade de alinhamento de todas as fibras é aprimorada.

Em outra modalidade ao invés de utilizar fibras de Kevlar revestidas com adesivo de fusão a quente como espaçadores isolantes, somente o adesivo de fusão a quente é utilizado, caso em que um suprimento do adesivo de fusão a quente é preaquecido e então extrudado diretamente sobre a superfície de qualquer ou de ambos: a) o sistema de eletrodo primário, em linhas paralelas que correm adjacentes às linhas de ondulações gravadas, ou b) o sistema de contra-eletrodo, novamente em linhas paralelas nas posições correspondentes. Neste arranjo somente as ondulações gravadas servem para definir o espaçamento entre os sistemas de eletrodo primário e de contra-eletrodo.

Em uma modificação desta outra modalidade, o adesivo de fusão a quente é fornecido com contas esféricas de 50  $\mu\text{m}$  de diâmetro de vidro de dióxido de silício, que quando depositadas sobre o sistema de eletrodo primário ou sistema de contra-eletrodo servem em conjunto com as linhas de ondulações gravadas para definir o espaçamento entre os dois sistemas de eletrodo no sistema de célula fotovoltaica montado.

Em cada um dos arranjos acima para formar o conjunto dos dois sistemas de eletrodo, o comprimento requerido do conjunto de eletrodo é então cortado manualmente utilizando uma guilhotina.

Para impedir que o eletrólito escape das extremidades dos canais entre as duas telas de eletrodos, ambas as arestas dianteira e traseira do comprimento cortado são vedadas para colocar o conjunto sobre uma mesa de vedação de aresta e aplicar um adesivo de fusão a quente que é aquecido a 180°C para cada uma das arestas por vez.

Depois de vedar as arestas, o conjunto vedado resultante é então laminado utilizando a estação de laminação ilustrada na figura 21. O conjunto vedado 401 é fornecido para um aperto definido entre dois roletes 402,

403 cuja superfície de cada um é resiliente. Dois roletes de laminado protetor 404 são fornecidos um acima e outro abaixo dos roletes 402, 403. O laminado 404 é fornecido em carretéis com uma camada de adesivo voltada para fora que é coberta com uma camada protetora removível 405. As duas  
5 camadas do laminado 404 são alimentadas para o aperto entre os dois roletes 402, 403 através de estações que removem a camada protetora 405. Cada uma das camadas laminadas 404 então viaja depois de um respectivo aquecedor radiante 406 com a superfície adesiva voltada para o aquecedor 406, de modo a ativar o adesivo. O conjunto vedado é alimentado manual-  
10 mente para o aperto entre os dois roletes 402, 403, de tal modo que as camadas laminadas 404 são aderidas às suas superfícies superior e inferior. Uma vez que o conjunto laminado resultante passa através da estação de laminação, as arestas traseiras da camada de laminado 404 são removidas.

A resiliência dos dois roletes 402, 403 elimina efetivamente bo-  
15 lhas de ar quanto a se formarem abaixo das camadas laminadas 404.

Para ajustar a estação de laminação, as camadas laminadas 404 são primeiro feitas passar para o interior do aperto entre os dois roletes 402, 403 sem remover a camada protetora que cobre o adesivo. Isto é para  
20 permitir às camadas laminadas que poderiam ser escondidas pela presença de camadas adesivas serem expostas e isto também impede que adesivo venha para contato com os roletes 402, 403.

As camadas laminadas atuam como uma barreira à umidade e protegem o sistema de célula fotovoltaica de radiação ultravioleta danosa.

O estágio final na produção de um sistema de célula voltaica  
25 flexível é a conexão de um respectivo terminal elétrico a cada uma das arestas laterais de um sistema, e isto é conseguido removendo áreas selecionadas do laminado que se superpõem às fendas alongadas no substrato PET de modo a expor a folha de titânio subjacente e prendendo um conector elétrico adequado à superfície de titânio exposta. Como descrito acima, uma ou  
30 ambas das células fotovoltaicas nas arestas laterais não são ativas e servem apenas como células falsas para possibilitar que conexão elétrica externa seja estabelecida.

Em um arranjo alternativo ilustrado nas figuras 22a e 22b, uma conexão franzida é conseguida formando uma abertura respectiva 5011 em cada uma das primeira e última células 5021 dentro de um sistema e franzindo um olhal 5031 para o interior de ambas as aberturas 5011. Conexões externas são efetuadas, seja soldando diretamente um terminal respectivo 5041 a ambos olhais franzidos 5031, ou franzindo juntos cada olhal 5031 com seu respectivo terminal 5041.

As figuras 22a e b mostram uma conexão franzida formada em células que contém eletrólito 5021. Contudo, em uma modalidade preferida (não mostrado) as células falsas 5021 não contém eletrólito ou um revestimento de corante. Além disto, a linha de ondulações no sistema de eletrodo primário mais próxima da aresta do sistema montado mostrado no lado direito do sistema nas figuras 22a e 22b pode ser omitida e somente uma fibra revestida ou mais preferivelmente uma única linha do adesivo de fusão a quente, pode ser fornecida nesta localização no lugar das duas fibras revestidas mostradas nas figuras 22a e 22b.

Uma vez que preferivelmente não existe eletrólito nas células falsas 5021, não há risco nem de qualquer vazamento indesejável do eletrólito, ou de qualquer ataque corrosivo da conexão elétrica pelo eletrólito. Desta maneira, uma conexão elétrica externa pode efetivamente ser feita à tira interna da tela de titânio que faz parte da célula falsa 5021. Além disto, este arranjo não é necessário para que o substrato PET do sistema de eletrodo primário seja formado com furos alongados.

A figura 23a é uma vista em seção transversal explodida de uma porção de duas células adjacentes de um sistema de célula fotovoltaica antes da montagem em uma modalidade na qual as fibras isolantes revestidas são depositadas no sistema de contra-eletrodo. Os eletrodos primários das células compreendem tiras de tela de titânio 501, cada uma tendo uma linha gravada de ondulações 502 ao longo de uma sua aresta, as tiras de titânio sendo separadas por um espaço isolante 503. Cada tira da tela de titânio 501 é parcialmente revestida com uma camada 504 de dióxido de titânio e material corante de rutênio. As tiras de titânio 501 são formadas sobre um

substrato PET contínuo subjacente 505.

O sistema de contra-eletrodo é formado de um substrato isolante contínuo 506 feito de PEN que é revestido com uma camada condutora 507 de ITO e que tem fibras revestidas de forma relativamente fina 508 e fibras revestidas de forma relativamente espessa 509, as fibras mais finas 508 sendo alinhadas com trilhas isolantes 510 formadas na camada condutora 507 de ITO.

A figura 23b é uma vista em seção transversal de uma porção de duas células adjacentes do sistema fotovoltaico depois de montagem e laminação, na qual as superfícies externas dos dois substratos isolantes 505, 506 são cada um revestidos com uma respectiva camada laminada 511.

A figura 24 ilustra as dimensões dos componentes do sistema de célula fotovoltaica acabado de acordo com uma modalidade preferida da presente invenção. A representação no desenho não está em escala, e a dimensão vertical está exagerada para efeito de clareza.

A figura 25 ilustra a aparência global de um sistema acabado de 12 células fotovoltaicas. Neste caso, conexões elétricas externas 701 são feitas na tela de titânio através de duas das aberturas alongadas 702 formadas ao longo das arestas laterais dos substratos PET do sistema de eletrodo primário. Será apreciado que o sistema acabado pode compreender um número diferente de células fotovoltaicas. Em uma modalidade preferida, por exemplo, o sistema acabado compreende 11 células fotovoltaicas.

Certos roletes requerem ajustamento de alinhamento. As figuras 26a e 26b ilustram como isto é obtido. Um bloco de montagem fixo 601 é preso de maneira rígida a uma trilha guia 602 por meio de parafusos de montagem 603, um bloco de montagem ajustável 604 é preso de maneira deslizante ao bloco de montagem fixo 601 por meio de parafusos rosqueados superior e inferior 605, que são acomodados dentro de respectivos furos de passagem 606 no bloco fixo 601 e com respectivos furos rosqueados 607 no bloco ajustável 604. Girando os parafusos rosqueados 605 no sentido horário o bloco ajustável 604 é feito mover no sentido do bloco fixo 601. Um terceiro parafuso rosqueado 608 é recebido dentro de um furo rosqueado

609 no bloco de montagem fixo 601 entre os parafusos rosqueados superior e inferior 605, e se estende desde o bloco de montagem fixo 601 no sentido do bloco ajustável 604. O terceiro parafuso rosqueado 608 tem uma cabeça hexagonal 610 que atua como um batente extremo encontrando uma superfície do bloco ajustável 604. O terceiro parafuso rosqueado 608 é girado por uma quantidade tal que a cabeça hexagonal 610 define uma posição desejada do bloco ajustável 604, e os parafusos superior e inferior 610 são apertados para trazer o bloco ajustável 640 no sentido do bloco fixo 601, até que ele encontre a cabeça hexagonal 610, ponto em que o bloco ajustável 604 está na posição desejada. O bloco ajustável 604 pode então ser preso de maneira rígida à trilha guia 602 utilizando parafusos de fixação 611.

Quando utilizados para ajustar a posição do eixo de um rolete 612, pares respectivos de blocos de montagem fixo e ajustável 601 e 604 são utilizados, e as extremidades 613 do rolete 612 são montadas dentro de recessos respectivos nos dois blocos ajustáveis 604, como mostrado na figura 16b. Será apreciado que com tal arranjo é possível alinhar o eixo do rolete 612 de maneira precisa em relação às trilhas guia fixas 602.

Será apreciado que os sistemas flexíveis de células fotovoltaicas fabricados de acordo com os processos acima têm aplicações de longo alcance tais como as seguintes:

- a) gerar eletricidade flutuando o sistema sobre a superfície de água é submetendo o sistema a uma fonte de luz;
- b) dessalinizar um corpo de água do mar flutuando o sistema sobre a água, submeter o sistema a uma fonte de luz tal como luz solar ou mesmo luz da lua e utilizar eletricidade resultante gerada pelo sistema para energizar o processo de dessalinização utilizando osmose reversa;
- c) reduzir evaporação da superfície de um corpo de água flutuando o sistema de células fotovoltaicas sobre a superfície; e
- d) aquecer uma piscina de natação flutuando o sistema de células fotovoltaicas sobre a sua superfície e conectando a saída do sistema a um aquecedor energizado eletricamente.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de fabricar um sistema de célula fotovoltaica do tipo que compreende um sistema de eletrodo primário e um sistema de contra-eletrodo, que definem juntos uma sequência de células conectadas em série,  
5 cada uma contendo eletrólito que é isolado de contato elétrico direto com o eletrólito das células vizinhas, o método compreendendo:
  - a) depositar eletrólito para o interior das células; e
  - b) sensoriar o nível de eletrólito depositado.
2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que o nível de  
10 eletrólito em cada célula é sensoriado de maneira independente.
3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que o nível de eletrólito é sensoriado utilizando um ou mais sensores óticos colorimétricos.
4. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 até  
15 3, em que o nível de eletrólito é sensoriado utilizando um ou mais sensores óticos reflexivos.
5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 até 4, ainda compreendendo controlar a velocidade de deposição do eletrólito na dependência do nível sensoriado de eletrólito.
- 20 6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 até 5, em que o eletrólito é depositado utilizando um distribuidor respectivo, separado, para cada célula.
7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 até  
25 6, em que o eletrólito é depositado utilizando uma ou mais válvulas dosadoras controladas por solenóide.
8. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 até 7, em que cada célula no dito sistema de eletrodo é definida por um par respectivo de trilhas isolantes.
9. Método de acordo com a reivindicação 8, em que cada trilha  
30 isolante compreende um adesivo fundido a quente, que serve, adicionalmente, para aderir juntos o sistema de eletrodo primário e o sistema de contra-eletrodo.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, em que cada trilha isolante compreende, adicionalmente, uma fibra isolante.

11. Método de acordo com a reivindicação 9, em que cada trilha isolante compreende, adicionalmente, uma pluralidade de esferas de vidro  
5 que servem para definir o espaçamento entre o sistema de eletrodo primário e o sistema de contra-eletrodo.

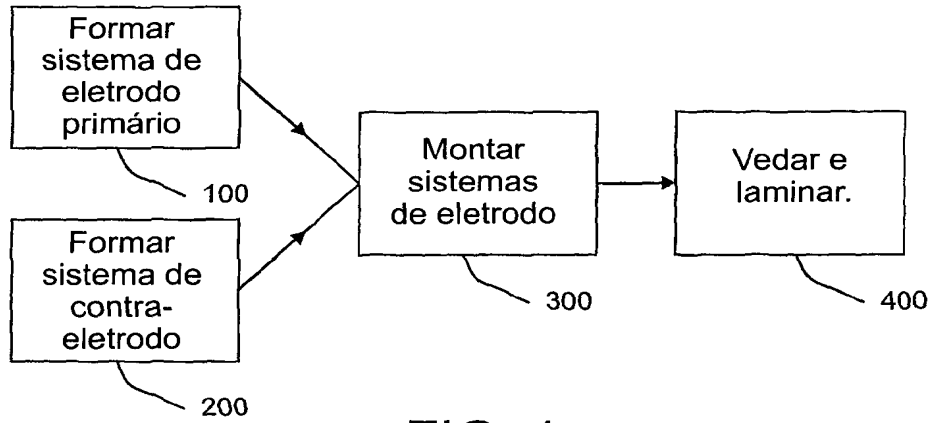


FIG. 1

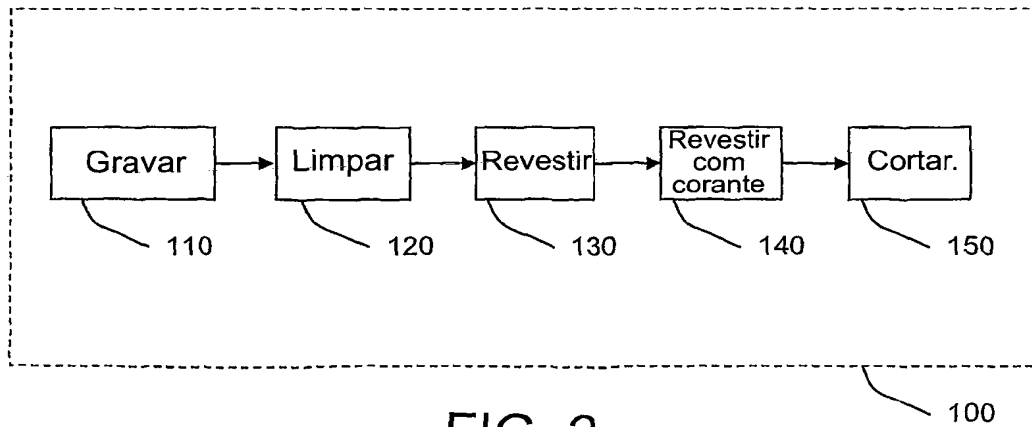


FIG. 2

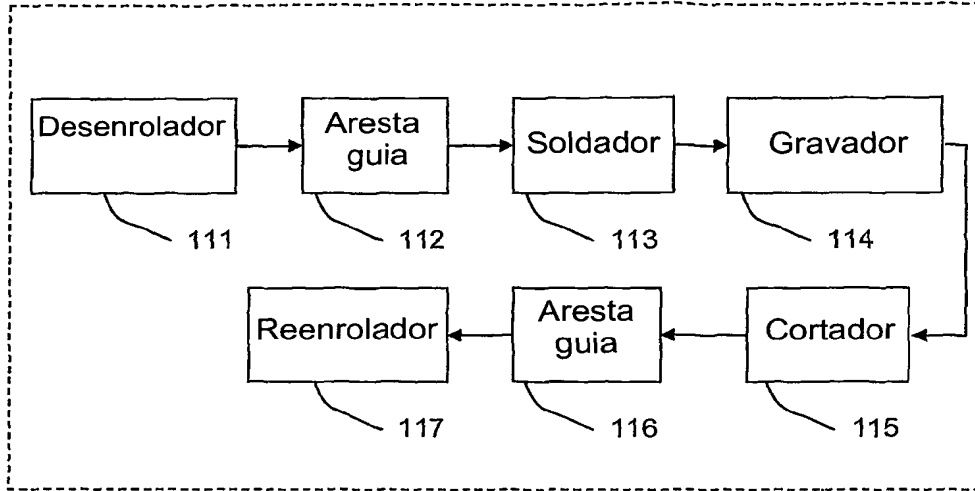


FIG. 3

110

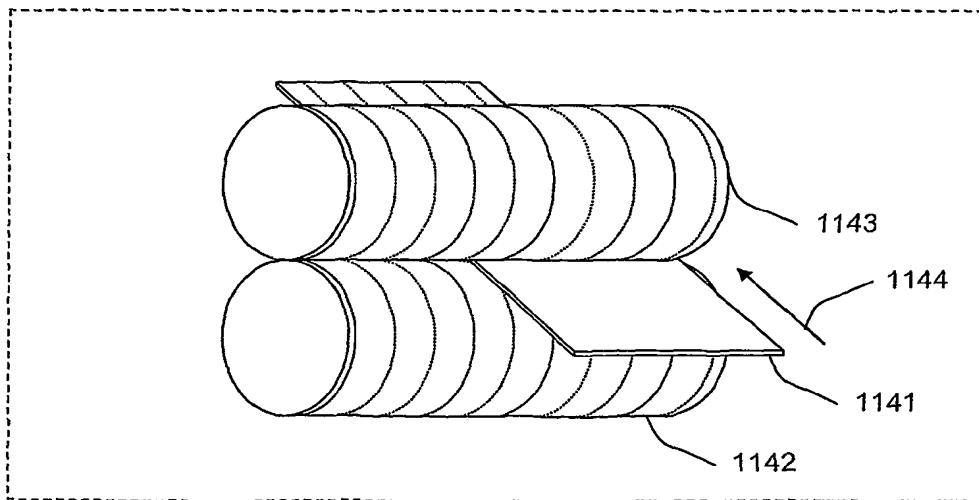


FIG. 4

114

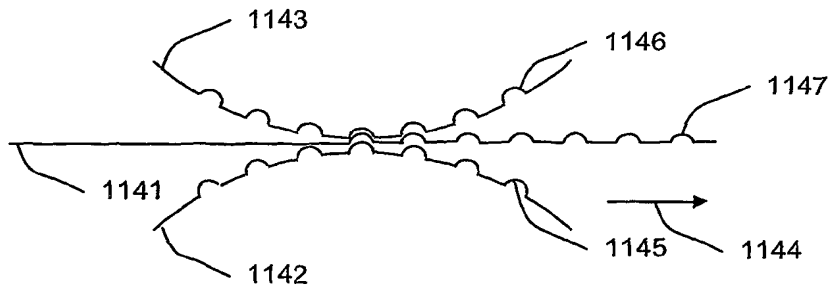


FIG. 5

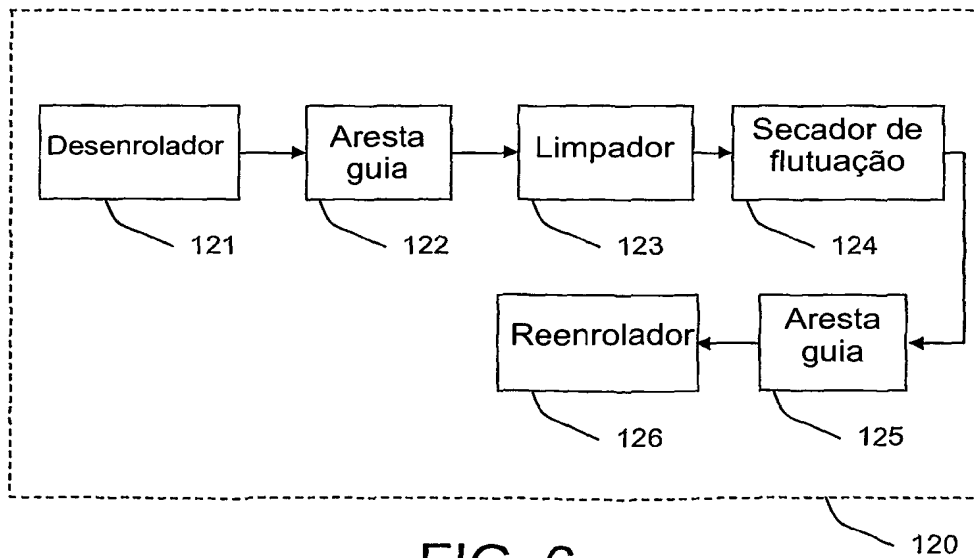


FIG. 6

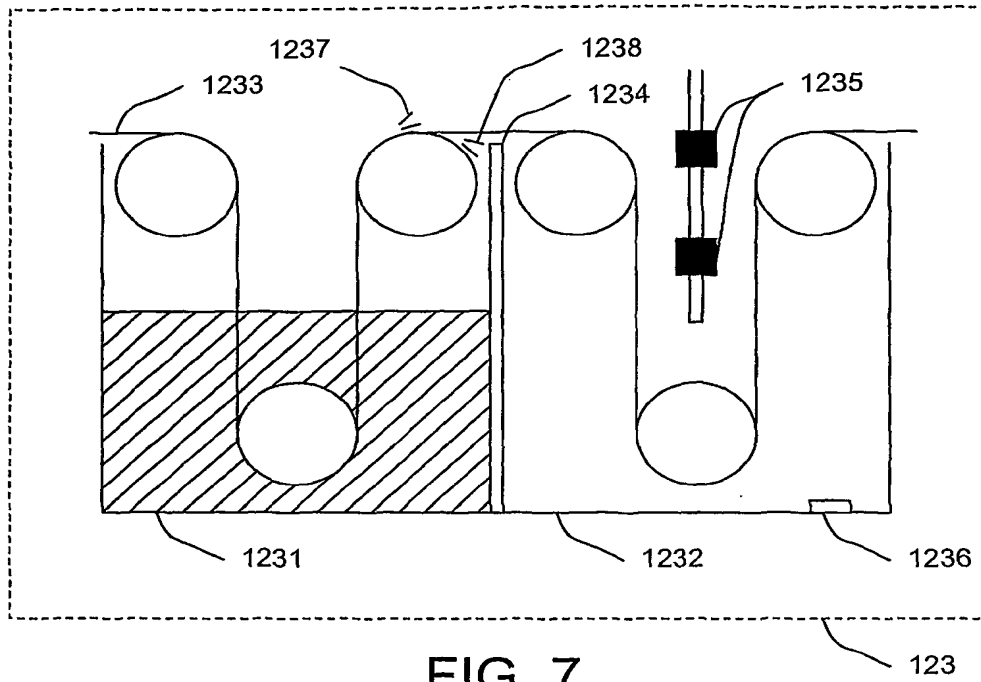


FIG. 7

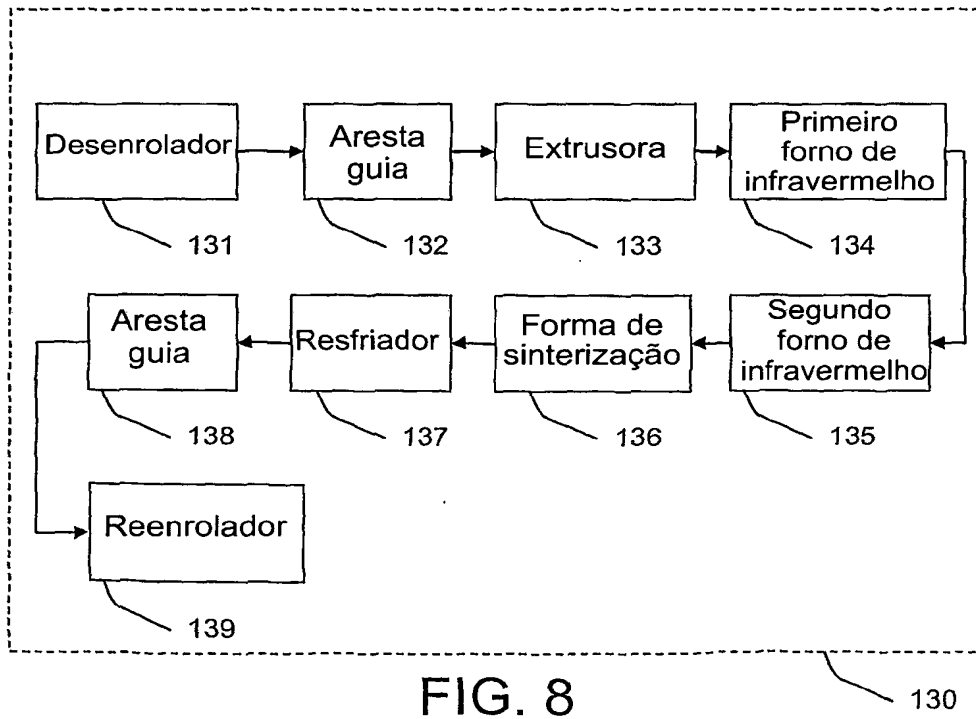


FIG. 8

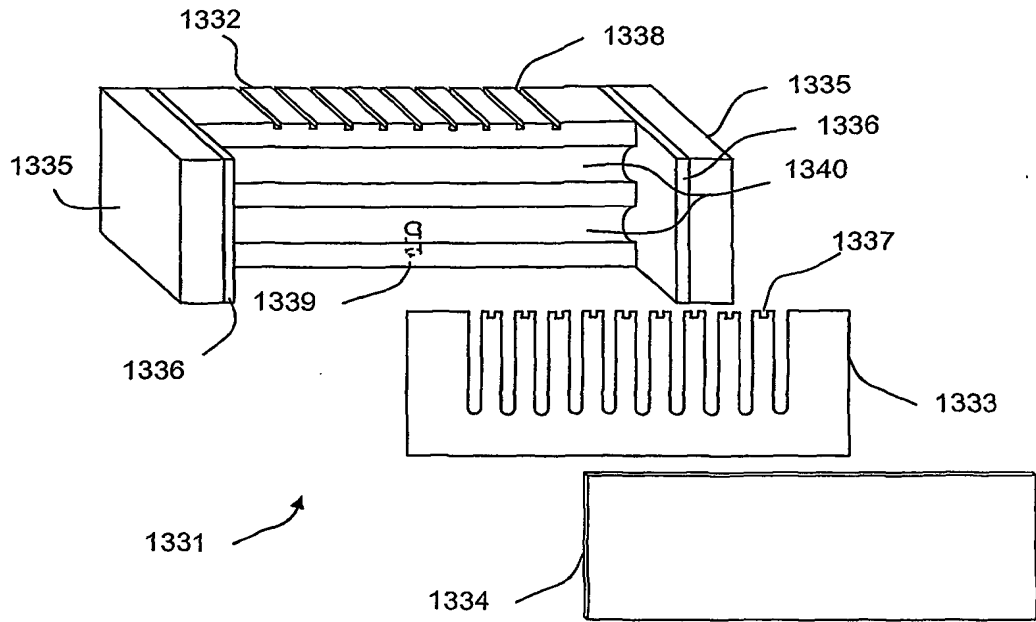


FIG. 9(a)

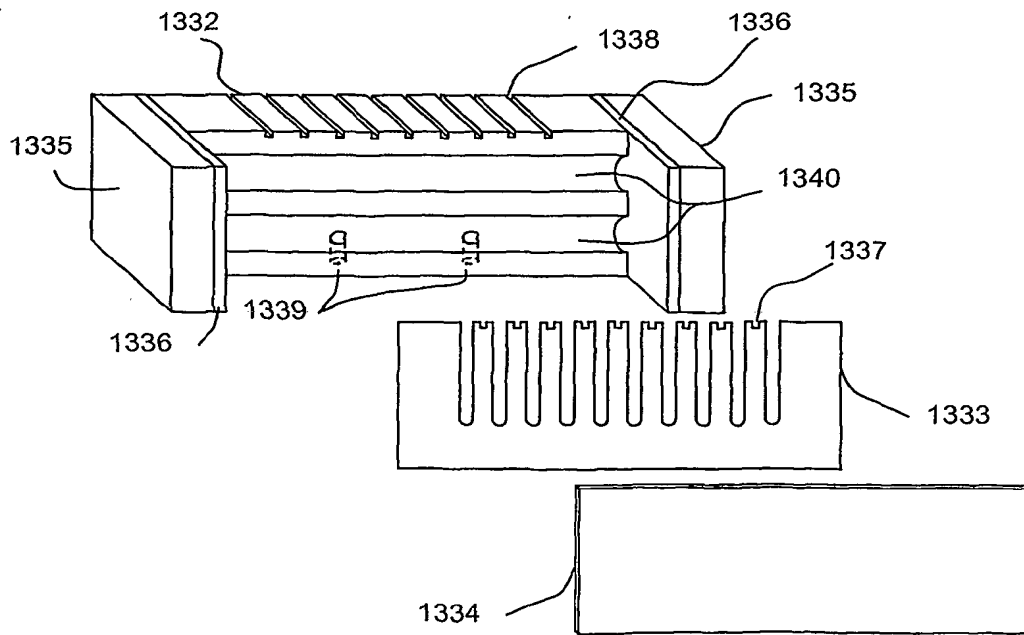


FIG. 9(b)

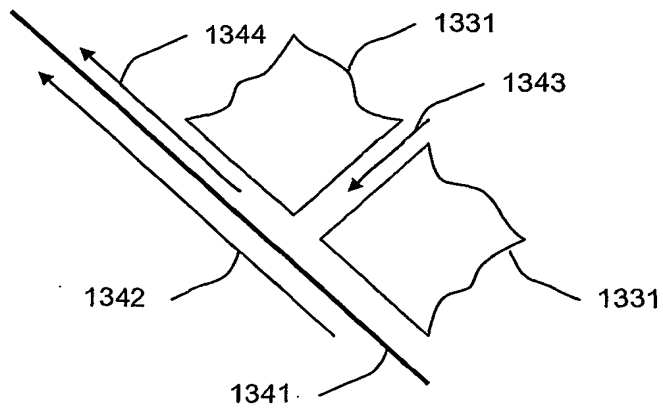


FIG. 10

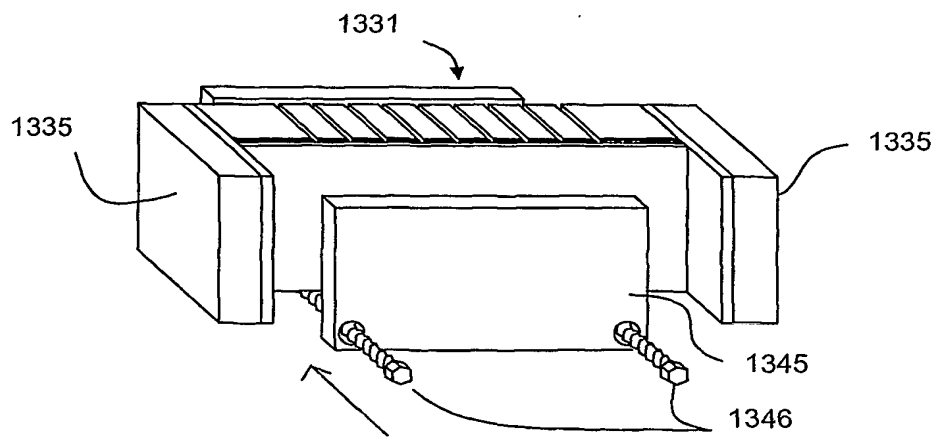


FIG. 11

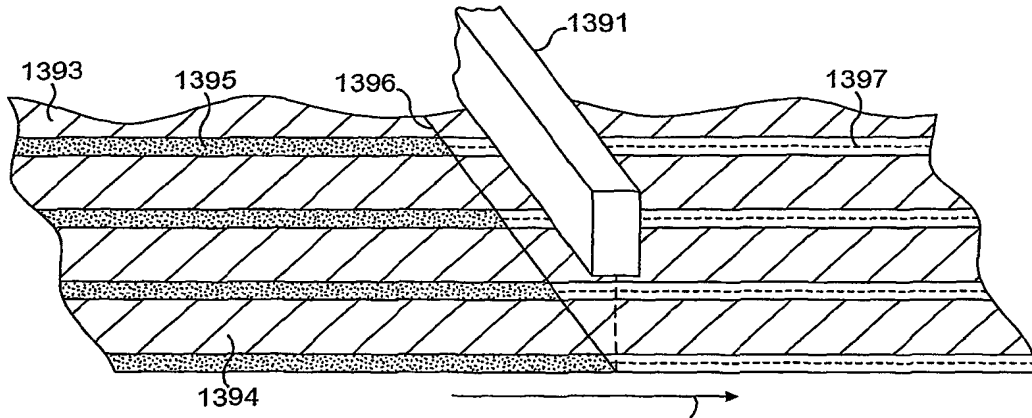


FIG. 12

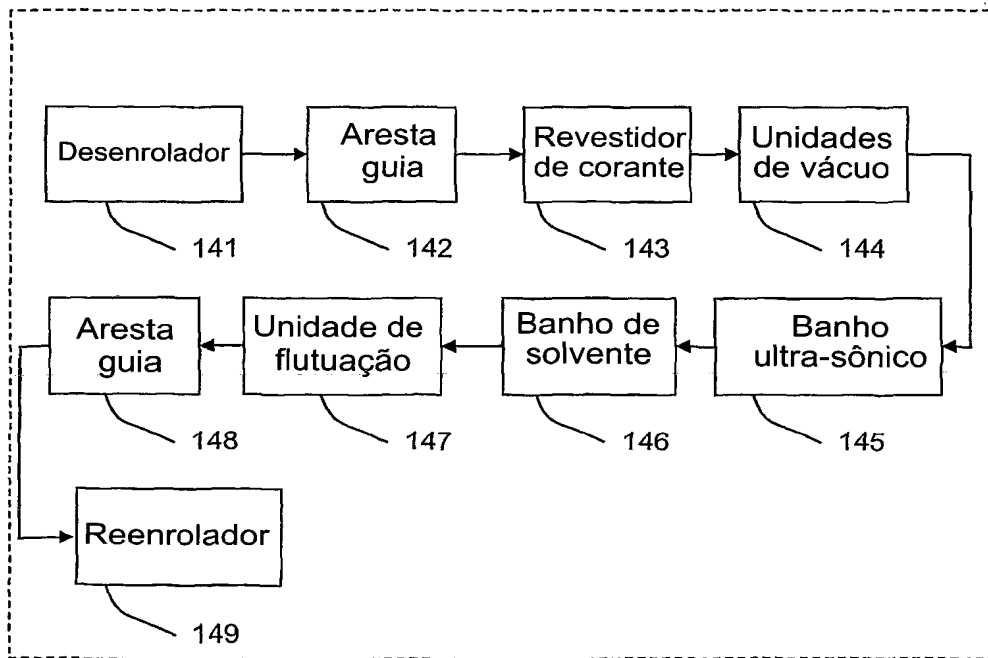


FIG. 13

140

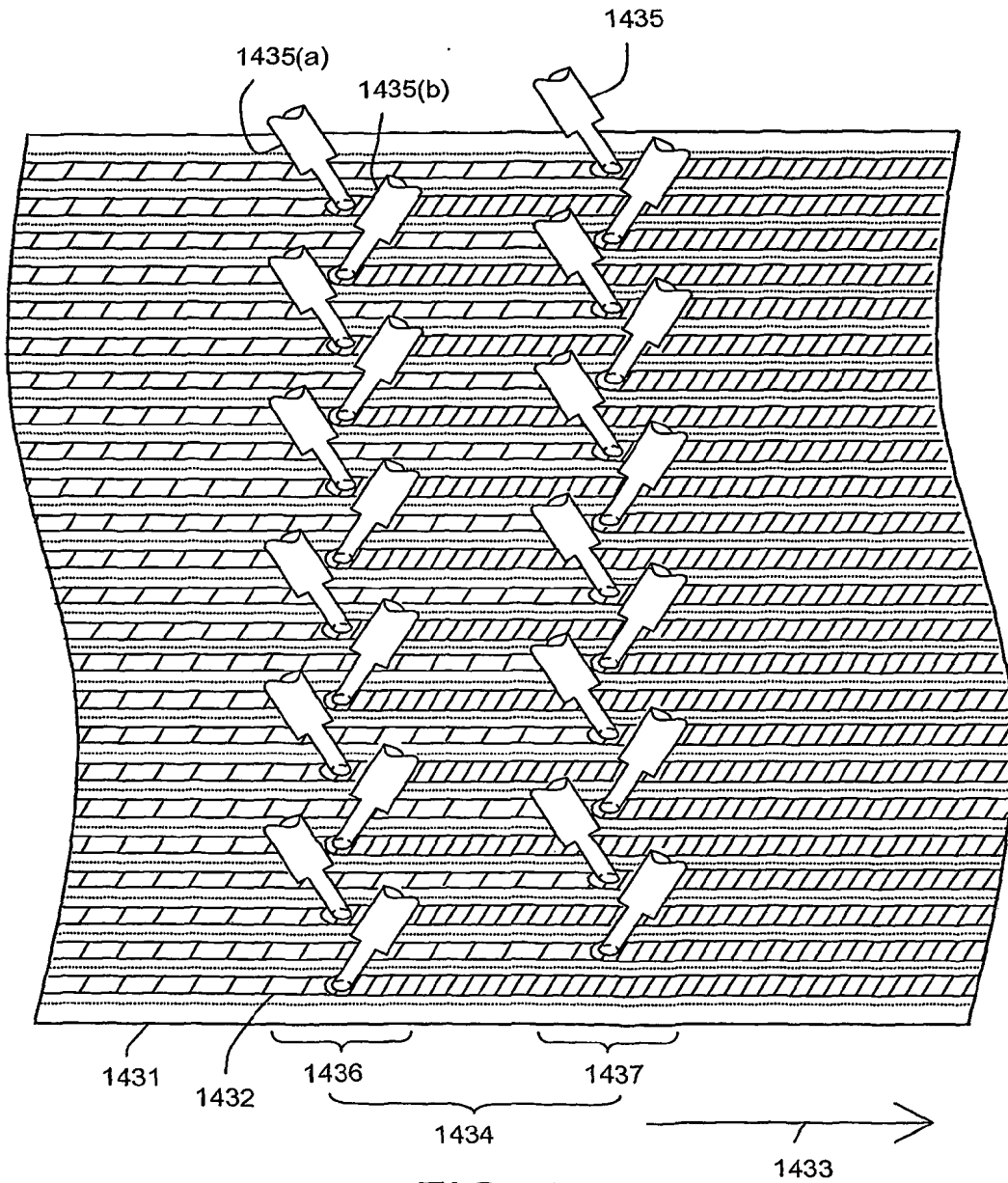


FIG. 14

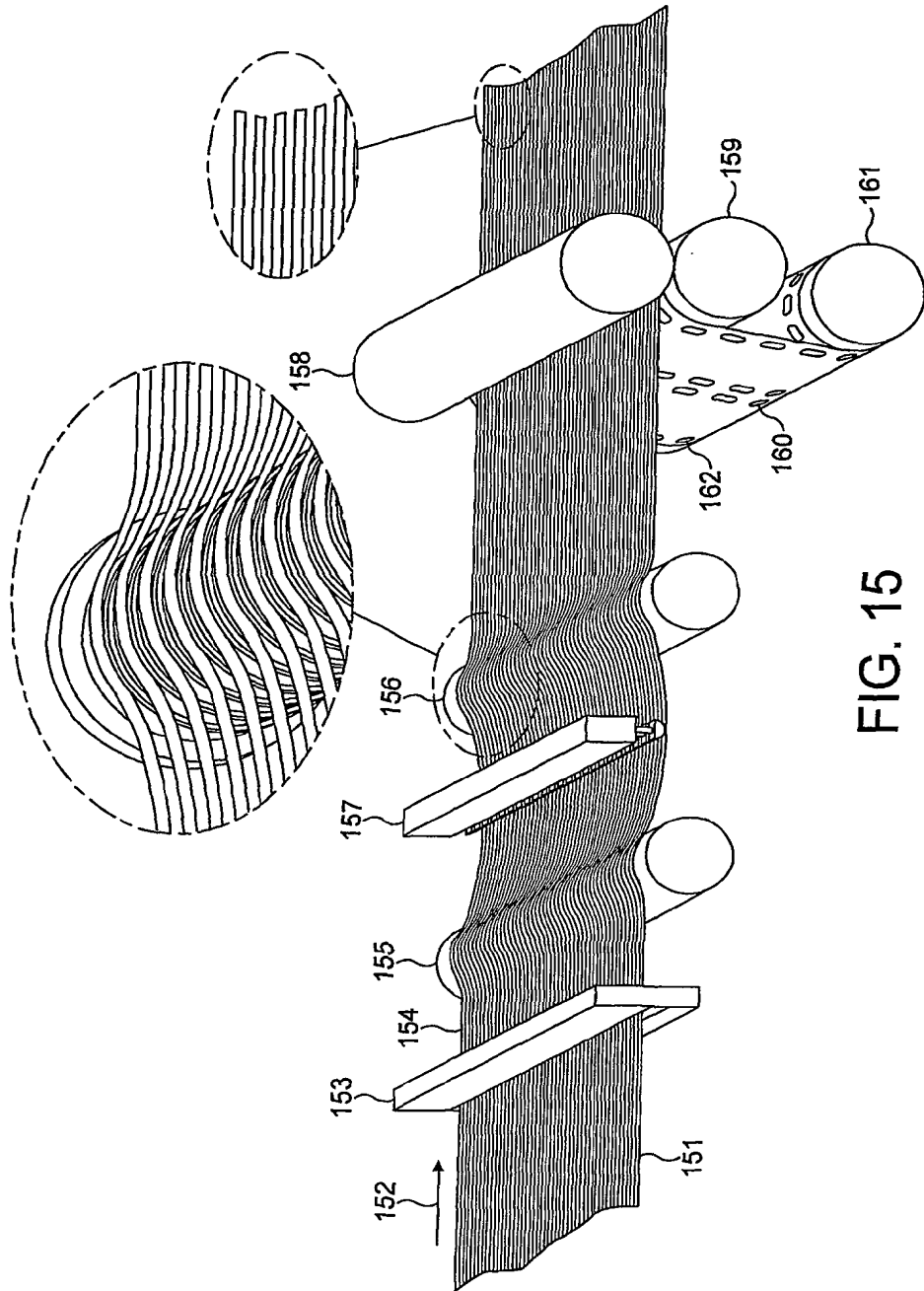


FIG. 15

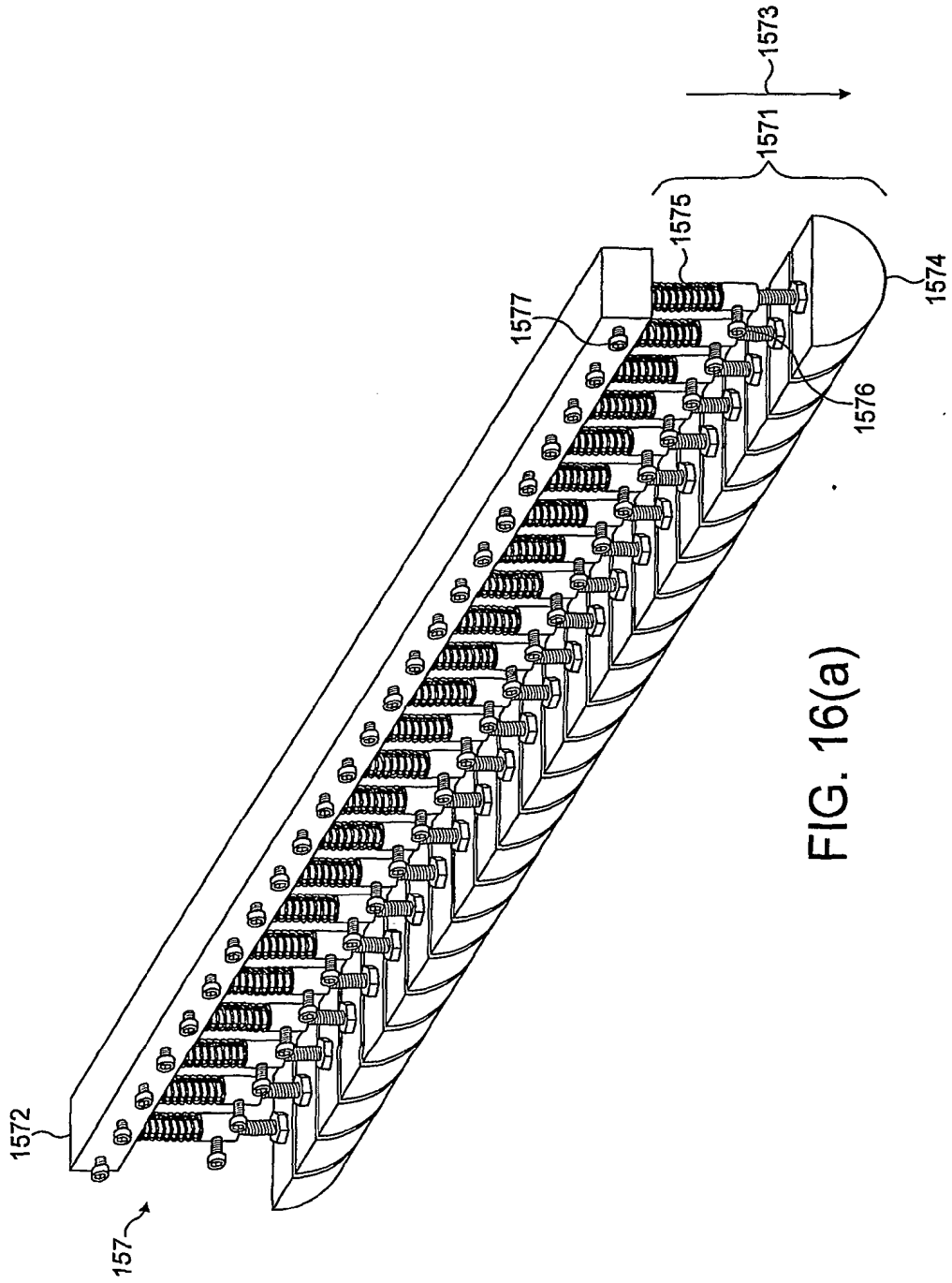


FIG. 16(a)

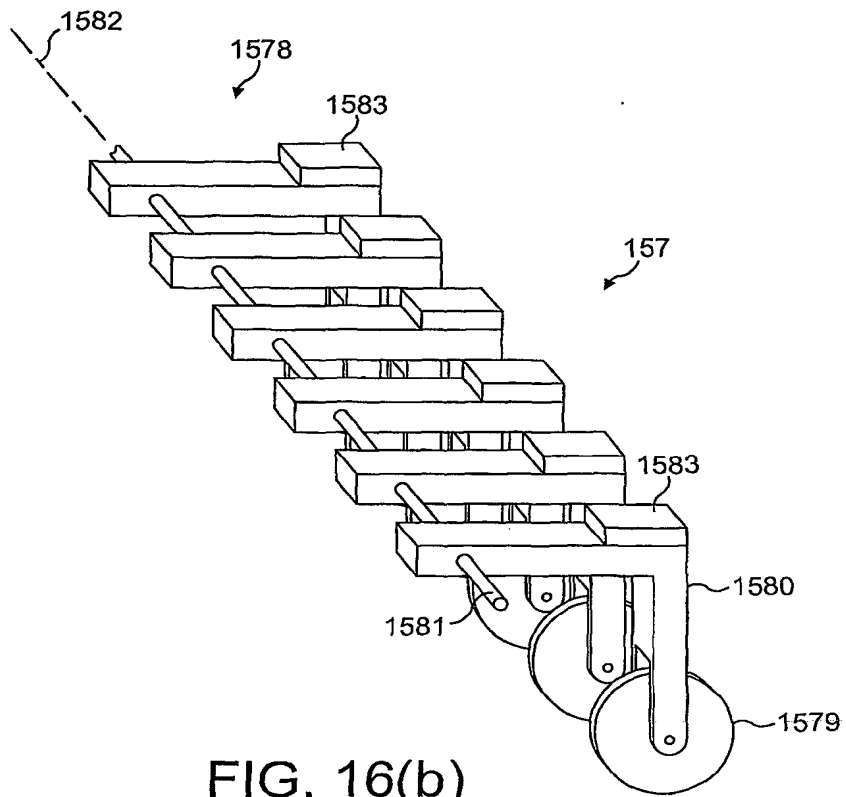


FIG. 16(b)

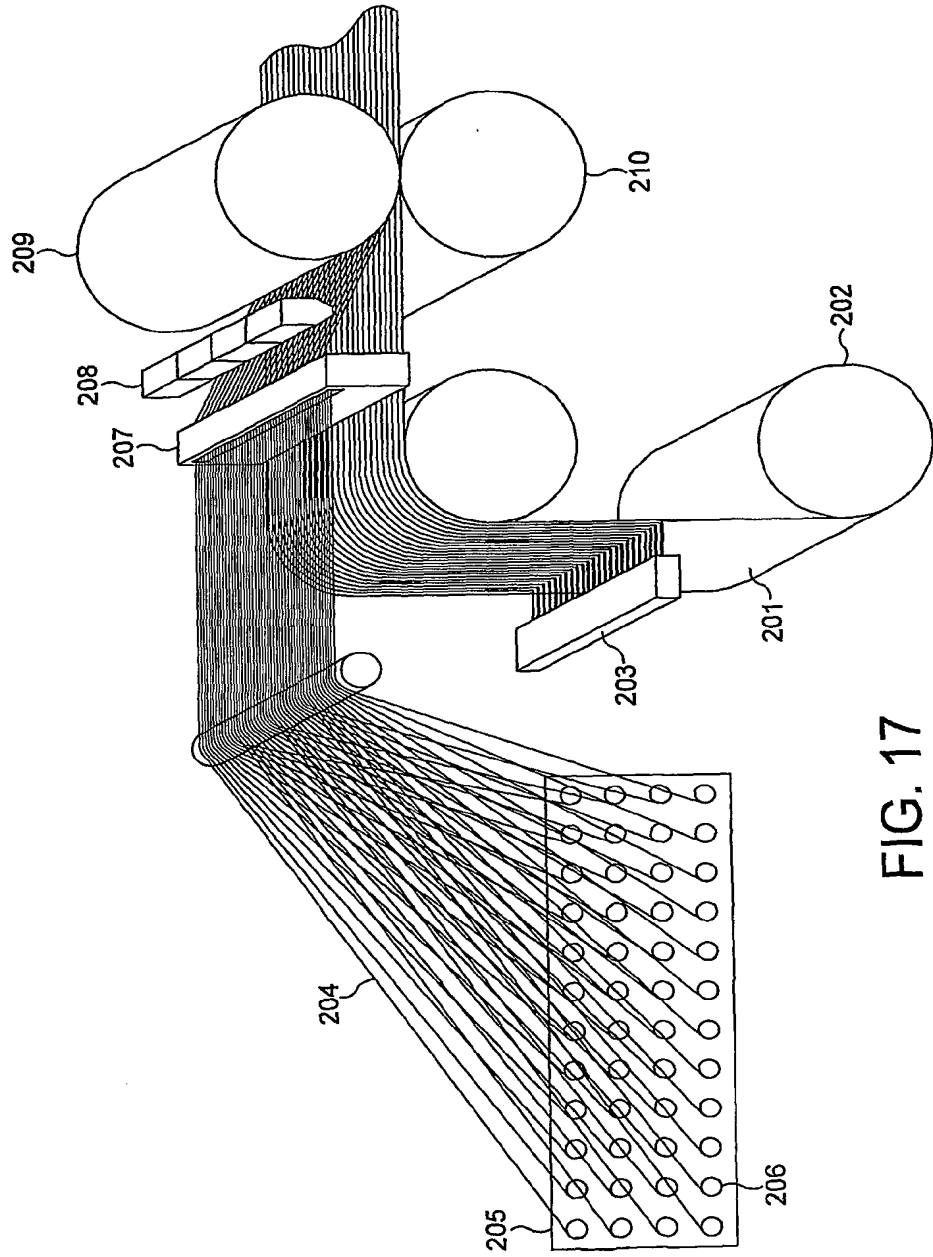


FIG. 17

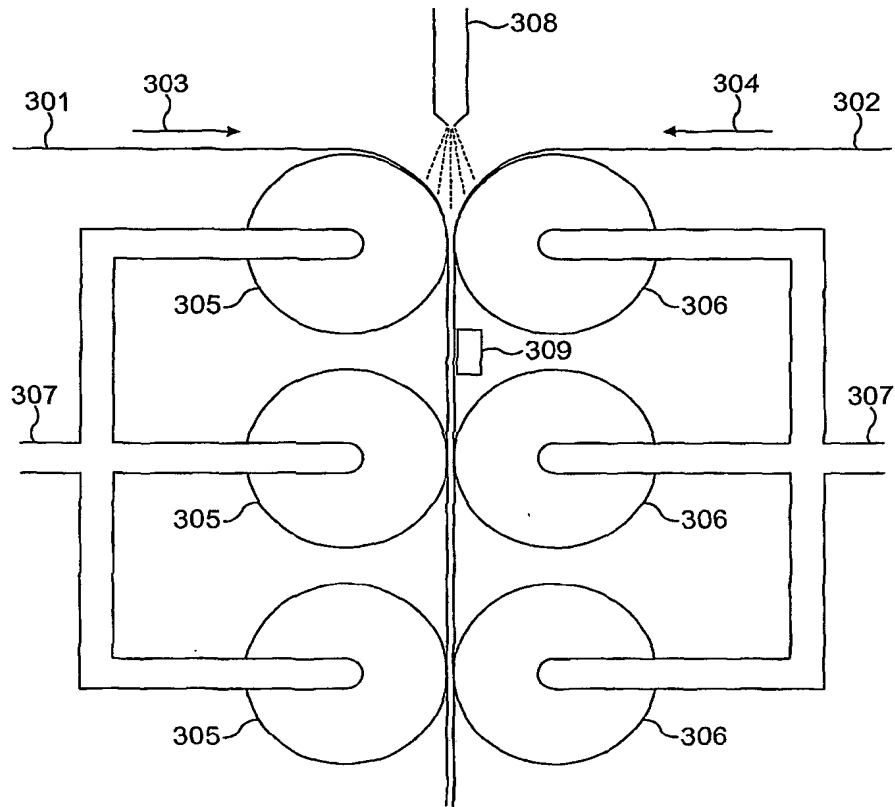
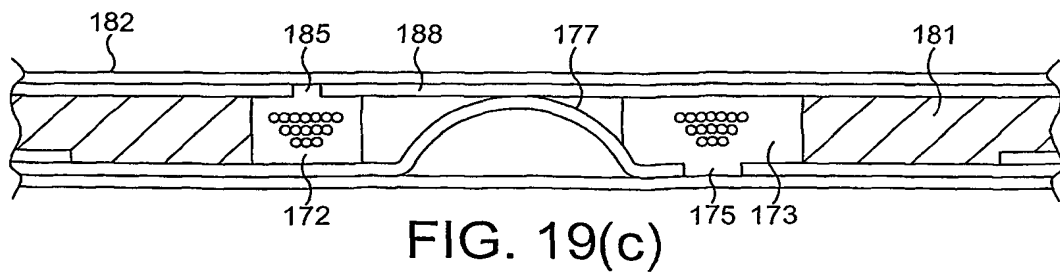
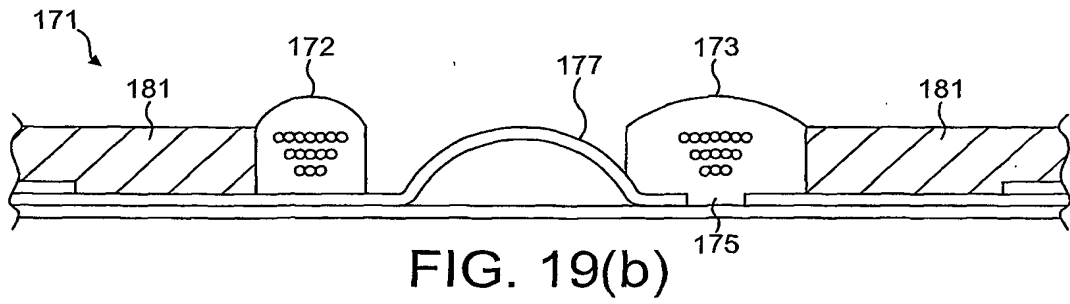
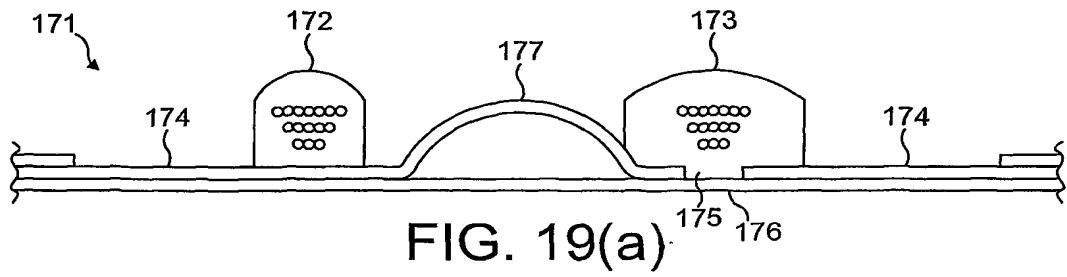


FIG. 18



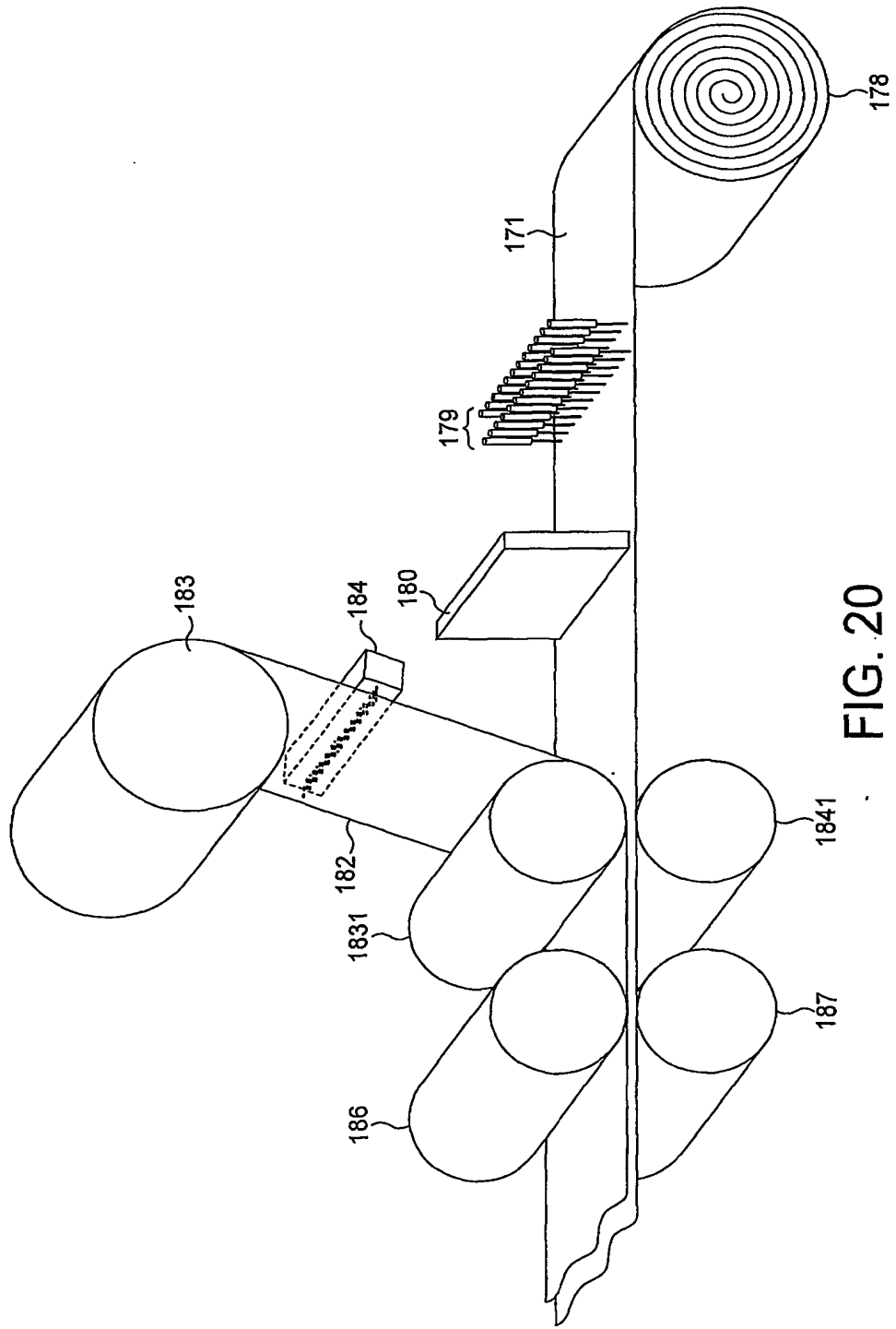


FIG. 20

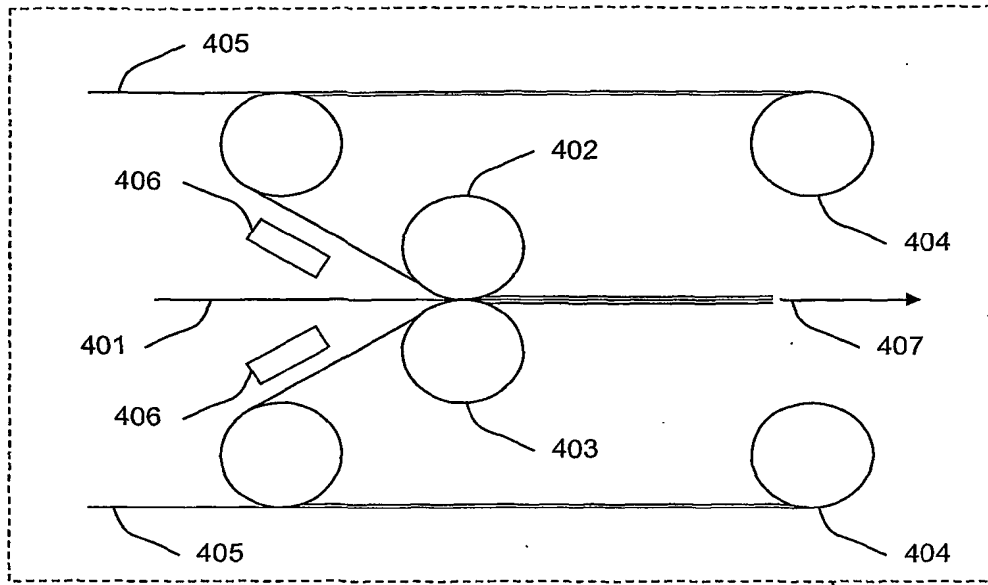


FIG. 21

430

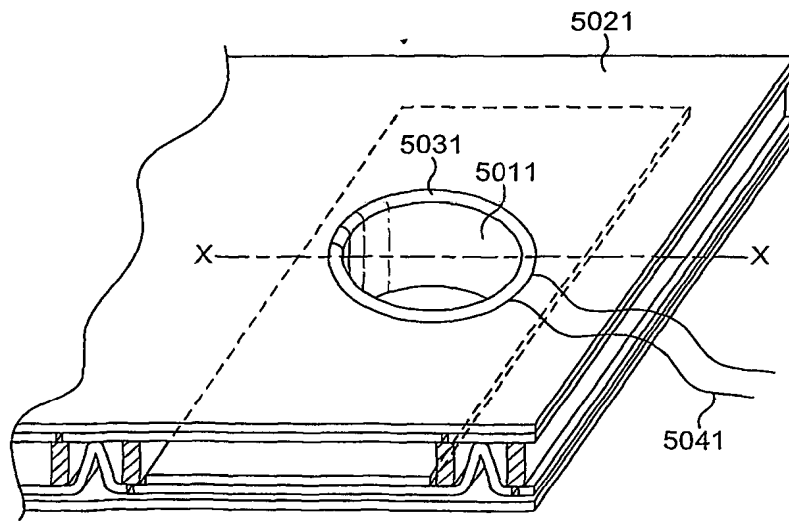


FIG. 22(a)

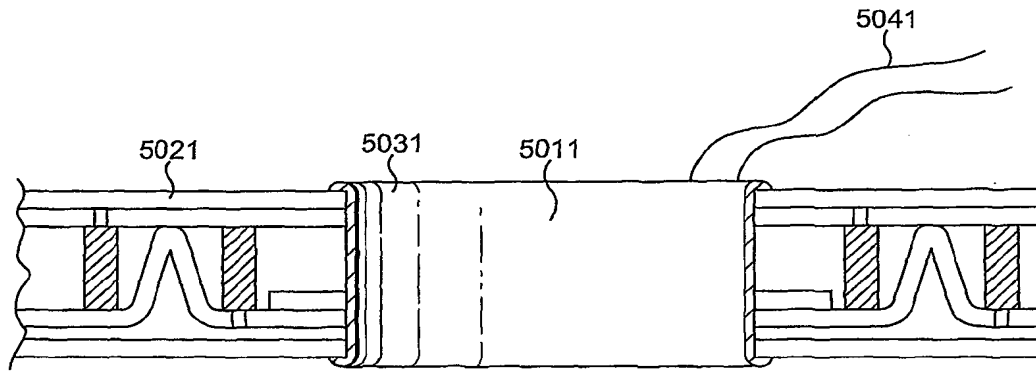


FIG. 22(b)

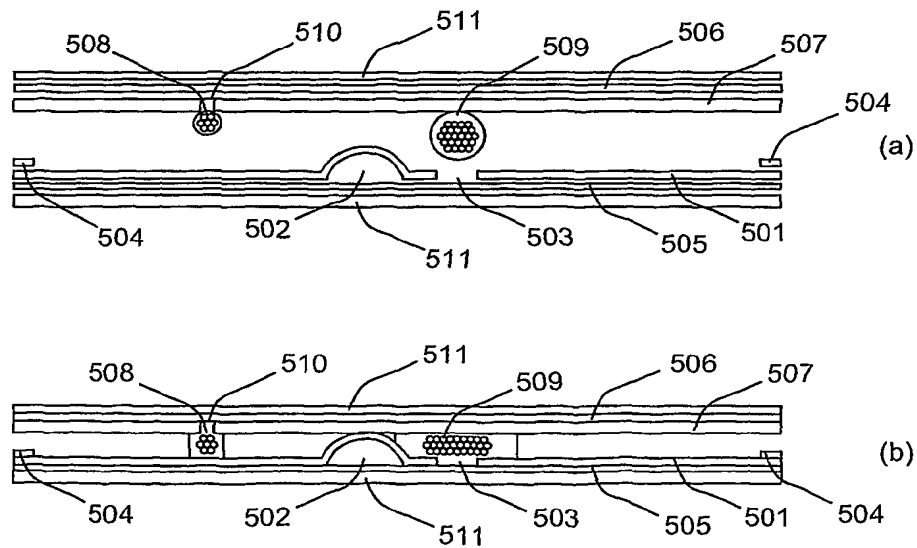


FIG. 23

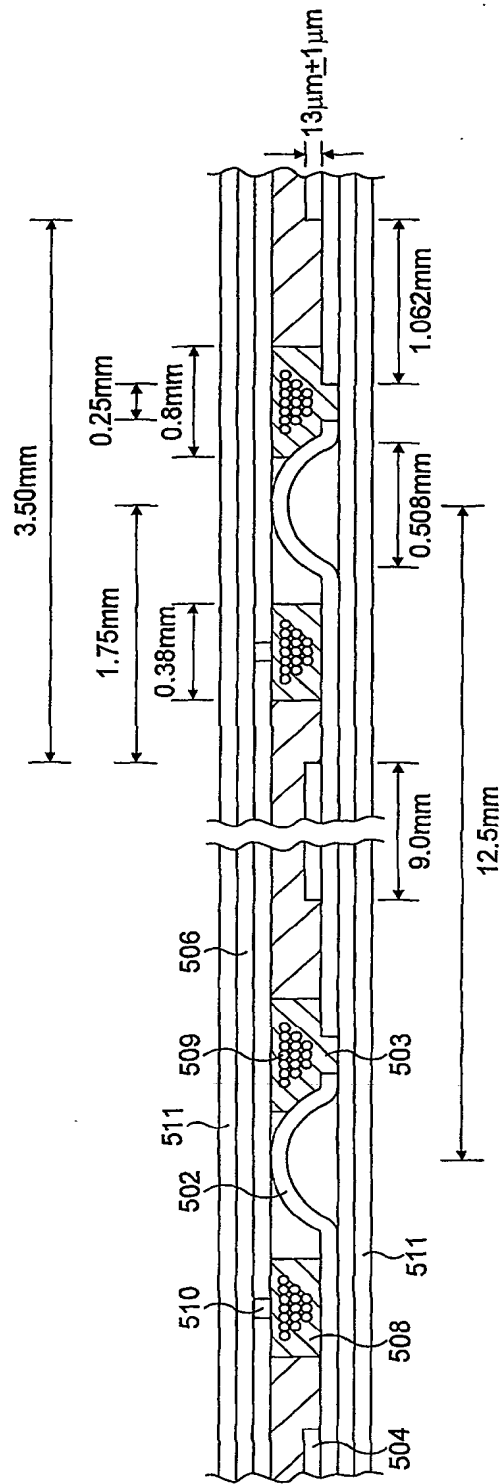


FIG. 24

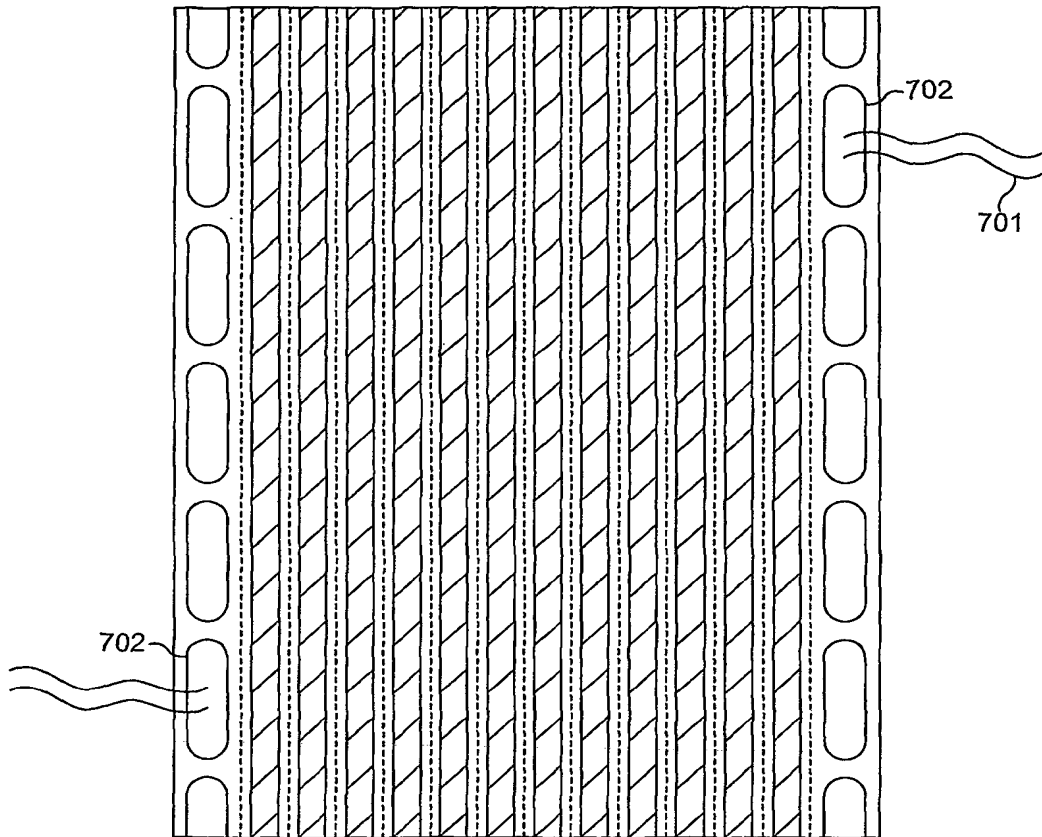


FIG. 25

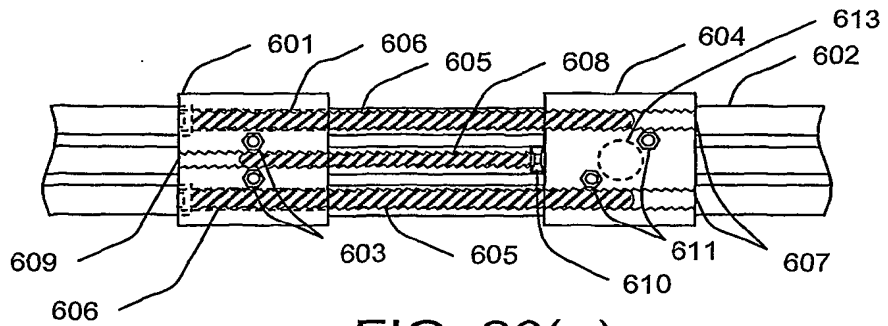


FIG. 26(a)

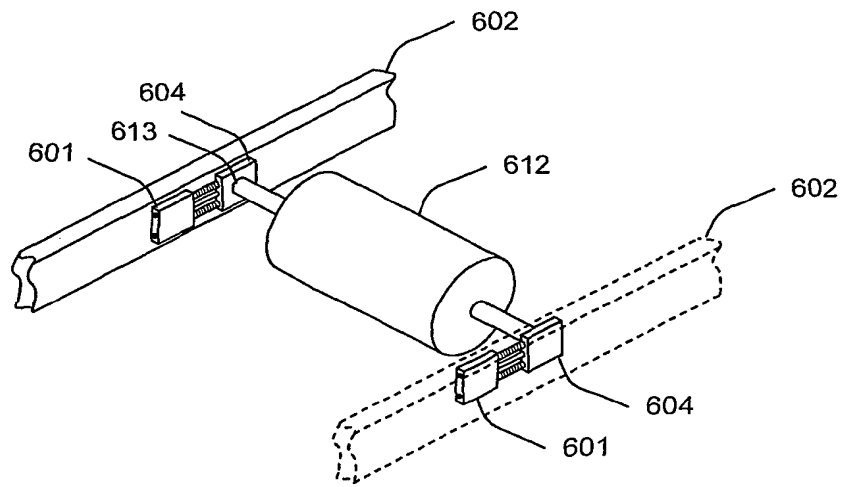


FIG. 26(b)

## RESUMO

Patente de Invenção: "**SISTEMAS DE CÉLULA FOTOVOLTÁICA**".

5 A presente invenção refere-se a um método de fabricar um sistema de célula fotovoltaica do tipo que compreende um sistema de eletrodo primário e um sistema de contra-eletrodo, que definem juntos uma sequência de células conectadas em série, cada uma contendo eletrólito que é isolado de contato elétrico direto com o eletrólito das células vizinhas, o método compreendendo: a) depositar eletrólito para o interior das células e, b) sensoriar o nível de eletrólito depositado.