



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

(21) BR 102020012416-1 A2



(22) Data do Depósito: 18/06/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 21/12/2021

(54) **Título:** MÉTODO E APARATO PARA SEPARAÇÃO DE COMPONENTES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS USANDO SOLVENTE

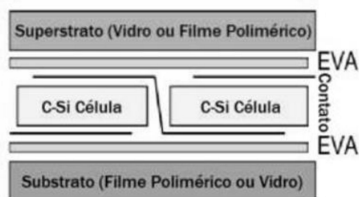
(51) **Int. Cl.:** B09B 3/00.

(52) **CPC:** B09B 3/00.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) **Inventor(es):** PABLO RIBEIRO DIAS; HUGO MARCELO VEIT; LUCAS MARGAREZZI SCHMIDT.

(57) **Resumo:** MÉTODO E APARATO PARA SEPARAÇÃO DE COMPONENTES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS USANDO SOLVENTE. Esta invenção traz um método e um aparato capazes de separar e recuperar os diferentes macro componentes de módulos fotovoltaicos de silício cristalino utilizando operações mecânicas e imersão em solvente, dentro de condições específicas e de um aparato vedado. A presente invenção se situa no campo da Engenharia de Materiais/Química.



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

MÉTODO E APARATO PARA SEPARAÇÃO DE COMPONENTES DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS USANDO SOLVENTES

Campo da Invenção

[0001] Esta invenção traz um método e um aparato capazes de separar e recuperar os diferentes macro componentes de módulos fotovoltaicos de silício cristalino utilizando operações mecânicas e imersão em solvente, dentro de condições específicas e de um aparato vedado. A presente invenção se situa no campo da Engenharia de Materiais/Química.

Antecedentes da Invenção

[0002] Módulos fotovoltaicos são dispositivos capazes de converter a energia solar em energia elétrica. Apesar de serem equipamentos considerados “verdes” por produzir energia alternativa e renovável, seu tempo de vida é limitado (20-25 anos) e, ao fim da sua vida útil, ele torna-se um resíduo eletroeletrônico que necessita cuidados especiais. Existem 3 grupos distintos chamados de gerações. A primeira geração é composta pelos módulos de silício cristalino, a segunda geração é composta pelos módulos de filmes finos e a terceira geração é composta pelas tecnologias emergentes. O foco do invento proposto são os painéis de primeira geração.

[0003] Existem vários trabalhos que versam sobre a reciclagem de módulos, mas o uso de solventes orgânicos como forma de separação foi pouco explorado e tem vantagens em relação às técnicas mais usadas hoje na indústria.

[0004] Devido ao baixo custo de matéria prima virgem, há a necessidade de reduzir o custo de operação de reciclagem a fim de viabilizar a mesma. Isso pode ser feito diminuindo o custo do processo ou aumentando o valor de cada material recuperado através de técnicas mais refinadas – o presente invento faz ambos.

[0005] Dentre as possíveis técnicas e rotas de separação e reciclagem de componentes está a separação utilizando solventes orgânicos, que visa separar as diferentes camadas que compõem a estrutura sanduiche (figura 1) presentes na maioria dos módulos fotovoltaicos. Os principais macro componentes dos módulos são o superstrato, célula fotovoltaica, moldura, caixa de passagem, substrato e contatos metálicos. Estes componentes são compostos majoritariamente pelos seguintes materiais de interesse: vidro, silício, alumínio, cobre, prata e polímeros diversos.

[0006] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[0007] O documento *KR20120000148, METHOD FOR RECYCLING SILICON FROM WASTE SOLAR MODULE*, descreve um método para coletar silício puro, não macro componentes (diferencial 1). Na patente, a célula toda passa por um processo de pirólise, enquanto no presente invento só parte dos componentes são pirolisados, o que diminui o custo do processo (diferencial 2). A patente faz uso de um banho ácido, enquanto o presente invento não usa banho ácido (nem mistura de ácidos) (diferencial 3). A patente propõe a dissolução da camada AR (anti-reflexo), enquanto o presente invento não remove a camada AR (diferencial 4). A patente em questão não usa temperatura durante a imersão em solvente, enquanto o presente invento usa (diferencial 5).

[0008] O documento *KR20140025003, DEVICE FOR RECYCLING CELL FROM SOLAR MODULE*, visa recuperar a célula fotovoltaica, enquanto o presente invento visa separar macro componentes (diferencial 1). A patente utiliza-se de ultra som, enquanto o presente invento não (diferencial 2). A patente utiliza um aparato de tubo com água destilada, enquanto o presente invento usa aparato diferente e não usa água destilada (diferencial 3). O módulo é submergido na vertical na patente, enquanto no presente invento ele pode ser submergido na vertical ou na horizontal (diferencial 4). A patente não lida com a primeira etapa do processo (separação mecânica inicial) (diferencial 5). A

patente utiliza solvente orgânico em temperatura entre 50 e 70 graus celsius, enquanto o presente invento utiliza a 90 graus Celsius (diferencial 6).

[0009] O documento *KR20120105330, METHOD FOR RECYCLING SILICON FROM WASTE SOLAR MODULE*, visa obter silício de módulos fotovoltaicos, enquanto o presente invento visa separar macro componentes (diferencial 1). A patente não se utiliza de temperatura, enquanto o presente invento é mantido em uma faixa de temperatura de 70 - 100 graus Celsius (diferencial 2). A patente propõe a dissolução da camada AR (anti-reflexo), enquanto o presente invento não remove a camada AR (diferencial 3). A patente promove a pirólise no encapsulante (EVA) inchado, enquanto no presente invento só parte dos componentes são pirolisados, o que diminui o custo do processo (diferencial 3). A patente utiliza uma solução ácida para remover os eletrodos, enquanto o presente invento remove os eletrodos de forma mecânica, após a separação por imersão em solvente orgânico (diferencial 4).

[0010] O documento *KR20110031688, THE SOLAR CELL RECYCLING METHODE FROM THE WASTE SOLAR MODULE*, visa obter silício de alta pureza, enquanto o presente invento visa separar macro componentes (diferencial 1). A patente também visa a redução (reação redox de redução) do silício, enquanto o presente invento não necessita de etapa de redução (diferencial 2). A patente corta a bateria do módulo, enquanto o presente invento não diz respeito à bateria e utiliza módulos inteiro, sem cortar ou moer previamente (diferencial 3). A patente em questão opera em temperatura ambiente durante a imersão em solvente, enquanto o presente invento aquece o solvente (diferencial 4). A patente não lida com a primeira etapa do processo, que consiste na separação mecânica inicial (diferencial 5).

[0011] O documento *JP2012019134, RECOVERY METHOD FOR REUSE OF SOLAR BATTERY MODULE MATERIAL*, propõe a recuperação do encapsulante (EVA), enquanto o presente invento propõe apenas desfazer-se de tal componente (diferencial 1). A patente utiliza solvente orgânico em temperatura entre 15 e 40 graus celsius, enquanto o presente invento opera na

faixa de 70 - 100 graus Celsius (diferencial 2). A patente utiliza-se de ultra som, enquanto o presente invento não necessita de tal técnica (diferencial 3). O aparato utilizado na patente possui um sistema de drenagem, enquanto o presente invento não necessita de tal (diferencial 4). A patente não lida com a primeira etapa do processo (separação mecânica inicial) (diferencial 5).

[0012] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0013] As técnicas utilizadas hoje não permitem uma completa recuperação de materiais de módulos fotovoltaicos e/ou recuperam componentes quebrados que, por sua vez, tem menor valor e inviabilizam uma reciclagem completa que seja economicamente viável. O presente invento utiliza menos energia que o estado da arte por não utilizar processos térmicos, é uma técnica mais benéfica ao meio ambiente do que o estado da arte e é capaz de recuperar componentes intactos, ao contrário do estado da arte.

Sumário da Invenção

[0014] Dessa forma, esta invenção traz um método e um aparato capazes de separar e recuperar os diferentes macro componentes de módulos fotovoltaicos de silício cristalino utilizando operações mecânicas e imersão em solvente, dentro de condições específicas e de um aparato vedado.

[0015] O presente invento oferece uma alternativa a produção primária de materiais que é um problema cada vez maior, uma vez que há enorme consumo de energia, mão de obra e tempo nesse processo, além da quantidade cada vez menor de depósitos processáveis na crosta terrestre. Isso se intensifica para materiais de alto valor como prata, silício de alta pureza e cobre. O presente invento oferece uma alternativa à produção primária, uma vez que descreve como se obter materiais pela rota secundária (reciclagem) a partir de um resíduo eletroeletrônico com enorme potencial de geração nas próximas décadas.

[0016] Um problema resolvido por meio desse invento, em relação a outras técnicas de reciclagem de módulos, é o fato da recuperação de materiais atingir 100% em massa dos materiais de interesse e o fato do vidro (superstrato) ser obtido de forma intacta (i.e., não quebrado).

[0017] Dentre as vantagens, cita-se a qualidade do produto, que é superior em relação a outras técnicas por se tratar de componentes intactos (que não estão quebrados ou cominuídos) e de puros (porque não há uso de alta temperatura, que faz com que átomos de impureza se difundam para materiais de interesse). Conforme mencionado, o vidro pode ser recuperado de forma intacta, assim como outros materiais (contatos metálicos, moldura, substrato). Ademais, a prata na superfície da célula não migra para a rede cristalina do silício.

[0018] Outra vantagem é a redução da quantidade de resíduos, efluentes e emissões geradas, visto que o processo utiliza um solvente que pode ser reaproveitado e reutilizado diversas vezes e não utiliza ácidos ou produz emissões típicas de técnicas de separação térmicas.

[0019] Finalmente, o método tem um custo muito reduzido em relação às técnicas convencionais, que se utilizam de processos térmicos para atingir a separação apresentada nesse invento.

[0020] O conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados é o desenvolvimento de um método e de um aparato capazes de separar e recuperar os diferentes macro componentes de módulos fotovoltaicos de silício cristalino utilizando operações mecânicas e imersão em solvente, dentro de condições específicas e de um aparato vedado.

[0021] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0022] Com o intuito de melhor definir e esclarecer o conteúdo do presente pedido de patente, são apresentadas as presentes figuras:

[0023] A figura 1 mostra a estrutura do módulo em forma de sanduíche.

[0024] A figura 2 mostra o aparato vedado desenvolvido para o método proposto, que é composto das seguintes partes:

- A. Sistema de refluxo (A) conectado a Tampa (B)
- B. Tampa de material inerte cobrindo o recipiente de material metálico inerte (D)
- C. Clip mecânico de compressão (C) comprimindo a tampa (B) contra o recipiente metálico inerte (D)
- D. Recipiente de material metálico inerte (D) contendo o solvente (E)
- E. Solvente (E) dentro do recipiente de material metálico inerte (D)
- F. Mangueira polimérica (F) inserida entre a tampa (B) e o selante acético resistente ao solvente (G)
- G. Selante acético resistente ao solvente (G) inserido entre a mangueira polimérica (F) e a tampa (B)

Descrição Detalhada da Invenção

[0025] O invento proposto é um método e um aparato que servem para separar os macro-componentes de um módulo fotovoltaico a fim de reciclar e recuperar seus principais materiais. O método foi desenvolvido para que se possa obter os componentes a partir de um módulo em qualquer condição (funcionando, quebrado, estragado, queimado), mas o maior valor material pode ser obtido quando o módulo se encontra inteiro (i.e, não quebrado). Ao final do método e usando o aparato desenvolvido, tem-se os seguintes macro componentes separados inteiramente: moldura metálica, vidro (sem danos), caixa de passagem, substrato polimérico, contatos metálicos e uma mistura de materiais, entre eles o encapsulante, demais materiais metálicos e o semicondutor. A seguir o invento é descrito detalhadamente.

[0026] Inicialmente, a caixa de passagem e a moldura metálica do módulo

são separadas mecanicamente (de forma manual ou automatizada).

[0027] Submerge-se, então, o restante em um solvente no aparato (figura 2). O aparato desenvolvido consiste de ao menos um recipiente rígido condutor térmico (D) e uma tampa inerte (B). O recipiente rígido deve ser condutor térmico na parte inferior para possibilitar condução de calor e de material inerte na tampa para auxiliar na vedação e no isolamento térmico. Para aumentar a eficiência do aparato, as bordas podem ser seladas com mangueira polimérica (F), selante acético (G) e compressão mecânica (C). No centro da tampa inerte (B), põem-se um sistema de refluxo (A) de forma a garantir que o solvente seja preservado.

[0028] O aparato é aquecido entre 70 e 100 graus Celsius com uma chapa de aquecimento e deixado sob repouso por um prazo entre 24 e 68 horas.

[0029] O aparato é então aberto, recupera-se o solvente, e o módulo, que estará parcialmente separado. Mecanicamente (de forma manual ou automatizada), os demais componentes são separados. O sistema vedado pode ser manipulado em intervalos regulares a fim de preservar o solvente e otimizar o tempo de processo.

[0030] A separação resulta no vidro (superstrato), substrato polimérico, contatos metálicos e mistura de encapsulante, semicondutor e demais materiais metálicos. Essa mistura pode ser separada ainda mais com processo térmico de pirólise em atmosfera inerte em uma faixa de temperatura de 400 a 600 graus Celsius, de modo a eliminar o encapsulante e permanecer com uma fração contendo semicondutor e metais.

[0031] Conforme já relatado anteriormente, o método conforme descrito na presente invenção apresenta alta eficiência, sendo o mesmo capaz de recuperar 100% do vidro, da moldura metálica, da caixa de passagem, dos contatos metálicos, do semicondutor, do substrato polimérico e demais metais.

[0032] Com isso, o método permite alcançar viabilidade econômica da reciclagem de módulos fotovoltaicos, visto que esta depende da recuperação do maior número de materiais possível.

Exemplo

[0033] Os exemplos aqui mostrados tem o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

Exemplo 1. Realização Preferencial

[0034] O primeiro passo é a remoção da moldura de alumínio externa e da caixa de passagem. A moldura é responsável pela estabilidade física da estrutura. A remoção da moldura é realizada com auxílio de ferramentas como chave de fenda, martelo e alicate. A remoção da moldura – se feita da forma descrita – pode quebrar o vidro, mas isso não inviabiliza o método. A caixa de passagem é responsável pelas conexões elétricas do módulo fotovoltaico e pode ser removida com o auxílio de chave de fenda.

[0035] Uma vez removida a moldura de alumínio e a caixa de passagem, os módulos são submergidos inteiros no solvente orgânico (tolueno) de acordo com o aparato criado pelos inventores e apresentado na figura 2.

[0036] O recipiente de aço inox do aparato contendo o tolueno e o módulo fotovoltaico é então vedado com a tampa de vidro (que já contém o sistema de refluxo acoplado), mangueira de silicone, selante acético e presilhas metálicas para compressão mecânica.

[0037] O aparato é aquecido a 90 graus Celsius com uma chapa de aquecimento e deixado sob repouso por um prazo entre 48 e 50 horas.

[0038] O sistema vedado pode ser aberto em intervalos regulares de tempo a fim de complementar o volume de tolueno.

[0039] Ao final do período, o aparato é então aberto, recupera-se o solvente (fase líquida), e o módulo (fase sólida), que estará parcialmente separado.

[0040] De forma mecânica (manual ou automatizada), os componentes são separados. A separação resulta no vidro (superstrato), substrato polimérico, contatos metálicos de cobre e mistura de encapsulante, silício, prata e alumínio.

[0041] A mistura de encapsulante, silício, prata e alumínio pode ser separada ainda mais com processo térmico de pirólise em atmosfera inerte a 500 graus Celsius, de modo a eliminar o encapsulante e permanecer com uma fração contendo silício, prata e alumínio.

[0042] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

Exemplo 2. Realização Preferencial

[0043] O primeiro passo é a remoção da moldura de alumínio externa e da caixa de passagem. A moldura é responsável pela estabilidade física da estrutura. A remoção da moldura é realizada com uma retífica para cortar partes da moldura e depois utilizar uma chave de fenda como alavanca. A remoção da moldura – se feita da forma descrita – pode quebrar o vidro, mas isso não inviabiliza o método. A caixa de passagem é responsável pelas conexões elétricas do módulo fotovoltaico e pode ser removida com o auxílio de chave de fenda.

[0044] Uma vez removida a moldura de alumínio e a caixa de passagem, os módulos são submergidos inteiros no solvente orgânico (tricloroetileno) de acordo com o aparato criado pelos inventores e apresentado na figura 2.

[0045] O recipiente metálico de alumínio do aparato contendo o tricloroetileno e o módulo fotovoltaico é então vedado com a tampa de vidro (que já contém o sistema de refluxo acoplado), mangueira de silicone ou similar, selante acético ou similar e presilhas metálicas para compressão mecânica.

[0046] O aparato é aquecido a 80 graus Celsius com uma chapa de aquecimento e deixado sob repouso por um prazo entre 48 e 50 horas.

[0047] O sistema vedado pode ser aberto em intervalos regulares de tempo a fim de complementar o volume de tolueno.

[0048] Ao final do período, o aparato é então aberto, recupera-se o solvente (fase líquida), e o módulo (fase sólida), que estará parcialmente separado.

[0049] De forma mecânica (manual ou automatizada), os componentes são separados. A separação resulta no vidro (superstrato), substrato polimérico, contatos metálicos de cobre e mistura de encapsulante, silício, prata e alumínio.

[0050] A mistura de encapsulante, silício, prata e alumínio pode ser separada ainda mais com processo térmico de pirólise em atmosfera inerte a 500 graus Celsius, de modo a eliminar o encapsulante e permanecer com uma fração contendo silício, prata e alumínio.

[0051] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Método para separação de componentes de um módulo fotovoltaico, de silício cristalino, **caracterizado por** compreender ao menos as etapas de:

- a. Remoção da moldura e da caixa de passagem;
- b. Imersão do módulo fotovoltaico em solvente;
- c. Remoção mecânica dos componentes do módulo fotovoltaico.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender etapa adicional, realização de processo térmico de pirólise opcional na mistura de encapsulante, silício, prata e alumínio.

3. Aparato para separação de componentes de um módulo fotovoltaico, **caracterizado por** ser dotado de ao menos:

- a. Um recipiente inerte ao solvente e dotado de boa capacidade de condução térmica (D);
- b. Uma tampa inerte e impermeável ao solvente (B);
- c. Uma estrutura intermediária capaz de deter a saída do solvente na forma de vapor (C, F e G);
- d. Um sistema de refluxo (A).

4. Aparato para separação de componentes de um módulo fotovoltaico de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pela** compressão da estrutura intermediária entre a tampa e o recipiente com ação mecânica (C);

5. Aparato para separação de componentes de um módulo fotovoltaico de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por** um componente polimérico inerte ao solvente como componente intermediário entre a tampa e o recipiente no aparato (F);

6. Aparato para separação de componentes de um módulo fotovoltaico de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por** um selante moldável e inerte ao solvente como componente de vedação na camada intermediária entre a tampa e o recipiente do aparato (G).

FIGURAS

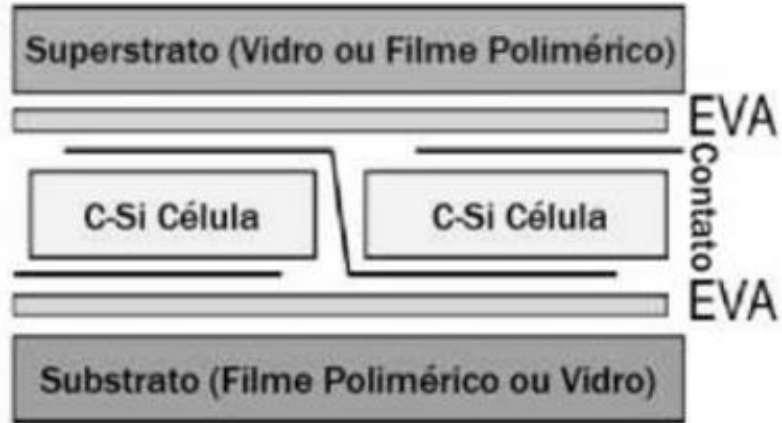


Figura 1

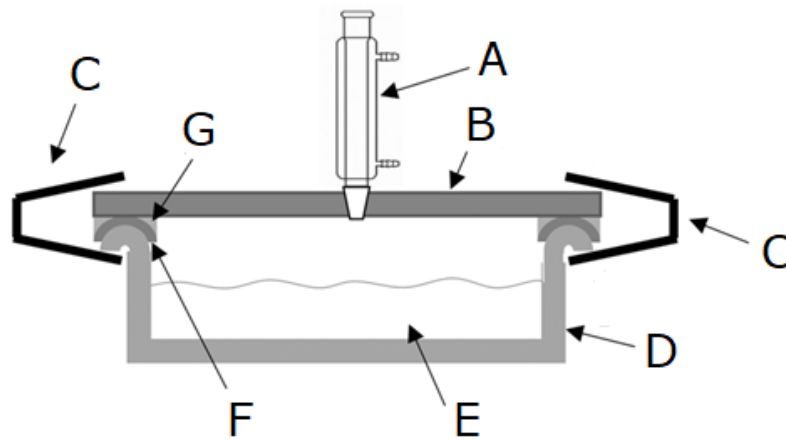


Figura 2

Resumo

**MÉTODO E APARATO PARA SEPARAÇÃO DE COMPONENTES DE MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS USANDO SOLVENTE**

Esta invenção traz um método e um aparato capazes de separar e recuperar os diferentes macro componentes de módulos fotovoltaicos de silício cristalino utilizando operações mecânicas e imersão em solvente, dentro de condições específicas e de um aparato vedado. A presente invenção se situa no campo da Engenharia de Materiais/Química.