

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 252**

51 Int. Cl.:

H02S 10/10 (2014.01)

H01L 31/042 (2014.01)

H02N 2/18 (2006.01)

H01L 41/113 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2011 E 11779838 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.10.2014 EP 2622647**

54 Título: **Dispositivo de conversión de energía híbrido**

30 Prioridad:

27.09.2010 GB 201016193

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

18.02.2015

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF BOLTON (100.0%)
Deane Road
Bolton, Lancashire BL3 5AB, GB**

72 Inventor/es:

**HADIMANI, MAGUNDAPPA L. (RAVI);
SIORES, ELIAS;
PREKAS, KLEANTHIS y
VATANSEVER, DERMAN**

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 529 252 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de conversión de energía híbrido.

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a materiales y estructuras piezoeléctricos y fotovoltaicos híbridos, y a sistemas de conversión de energía y circuitos para estos materiales y estructuras.

Antecedentes de la invención

10 La disponibilidad de materiales fotovoltaicos y piezoeléctricos flexibles, junto con la presión creciente para obtener energía de fuentes renovables, hace que el uso tanto de tecnologías piezoeléctricas como de tecnologías fotovoltaicas, simultáneamente y/o en el mismo emplazamiento, sea una posibilidad cada vez más atractiva. Es posible desarrollar una estructura híbrida que incluya ambas tecnologías para cosechar energía tanto de la energía solar como de fuentes de energía mecánica, como la lluvia, el viento, las olas o las mareas. Puede utilizarse un polímero piezoeléctrico flexible para recoger energía mecánica y al mismo tiempo puede actuar como un material sustrato para células fotovoltaicas orgánicas.

15 El documento WO 2009/070706 describe el uso de células solares orgánicas flexibles para césped artificial con el fin de generar energía solar. El uso de un sistema de este tipo estaría limitado por la disponibilidad de luz solar en determinados periodos del día. La estructura especificada en la patente arriba indicada no puede utilizar energía mecánica.

20 El documento US 7.705.523 B2 describe un dispositivo híbrido que utiliza células solares sensibles a colorantes y nanobarras piezoeléctricas de óxido de zinc (ZnO) para convertir tanto energía solar como energía mecánica en energía eléctrica. La estructura híbrida solo puede ser desarrollada en forma de fibras, pero no como películas o láminas. Las películas o láminas pueden ser deseables en determinadas aplicaciones, por ejemplo para la recogida de energía donde la energía mecánica del agua o del viento se convierte en electricidad. La estructura híbrida descrita en el documento US 7.705.523 B2 no se puede modificar para acomodar otros tipos de células solares menos costosas, tales como células solares orgánicas o células solares de silicio amorfo. Además, la estructura es muy compleja, presentando una estructura jerárquica que incluye túbulos con nanobarras radiantes. Es deseable disponer de una estructura simplificada tanto para posibilitar métodos de producción más simples como para permitir el uso de dichas tecnologías piezoeléctricas-fotovoltaicas híbridas a diferentes escalas y en diferentes formas estructurales, por ejemplo en forma de películas o láminas, y también en forma de fibras.

25 El documento US 2010/0231046 A1 da a conocer un sistema de generación de energía híbrido para una acera inteligente que implica una disposición de células solares sobre un sustrato piezoeléctrico, preferentemente un material cerámico.

30 D CHOI y col., NANOTECHNOLOGY 21 (2010), 405503, describen una estructura para la recogida de energía híbrida flexible que incluye una capa de células solares orgánicas cubriendo una capa piezoeléctrica de ZnO sobre un sustrato de plástico PES.

35 Así, un objetivo de realizaciones de la presente invención es proporcionar un método mejorado para almacenar, consumir y/o generar energía eléctrica recogida tanto de fuentes solares como de fuentes mecánicas. Otro objetivo de realizaciones de la invención es proporcionar un sistema de generación de energía mejorado para cosechar tanto energía solar como energía mecánica con el fin de utilizarla con dicho método. Un objetivo más de realizaciones de la presente invención es proporcionar una estructura híbrida que tiene características piezoeléctricas y fotovoltaicas para utilizarla en dicho sistema. Y otro objetivo de realizaciones de la invención es proporcionar un método para producir dicha estructura.

Sumario de la invención

45 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica para convertir energía solar y mecánica en energía eléctrica, que tiene múltiples capas superpuestas, incluyendo una capa fotovoltaica y un sustrato piezoeléctrico que comprende un polímero piezoeléctrico.

Una estructura híbrida de este tipo podría funcionar recogiendo energía de múltiples fuentes renovables mediante un único sistema de captura de energía de múltiples fuentes. Esto puede conducir a sistemas de captura de energía que recogen energía con mayor eficacia, o que son más rentables, robustos, ligeros o desplegados que otros sistemas de captura de energía de una sola fuente comparables.

50 Ventajosamente, el sustrato piezoeléctrico está interpuesto directamente entre un electrodo superior y un electrodo inferior.

Preferentemente, la capa fotovoltaica está interpuesta entre una capa de ánodo exterior y una capa de cátodo interior. El sustrato piezoeléctrico y los electrodos superior e inferior pueden estar separados de la capa fotovoltaica, el cátodo y el ánodo mediante una capa aislante. Ventajosamente, la capa fotovoltaica comprende adicionalmente una subcapa

exterior de un polímero bloqueador de electrones (extractor de huecos) transparente y una subcapa interior de polímeros donadores de electrones y aceptores de electrones (donadores-aceptores).

La capa de polímero bloqueador de electrones puede comprender poli(3,4-etilendioxitiofeno) y poliestireno-sulfonato (PEDOT:PSS) o puede comprender politetrafluoroetileno (PTFE).

- 5 La capa de polímero donador-aceptor de electrones puede comprender poli(3-hexiltiofeno) y [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo (P3HT + PCBM), o puede comprender poli(p-fenilvinileno) y poli(2-metoxi-5-propiloxisulfonato-1,4-fenilvinileno) (PPV + MPS-PPV), o puede comprender poli[2-metoxi-5-(2'-etilhexiloxi)-1,4-fenilvinileno] y [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo (MEHPPV + PCBM), o puede comprender poli[2-metoxi-5-(3',7'-dimetiloxiloxil)-1,4-fenilvinileno] y [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo (MDMOPPV + PCBM), o puede comprender poli(p-fenilvinileno) y fulleren (PPV + C60), o puede comprender poli(3-octiltiofeno) y [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo (P3OT + PCBM), o puede consistir en [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo y poli[2,6-(4,4-bis-(2-ethylhexil)-4H-ciclopenta[2,1-b;3,4-b']ditiófeno)-alt-4,7-(2,1,3-benzotiadiazol)] (PCBM + PCDTBT), o puede comprender poli[N-dodecil-2,5-bis(2'-tienil)pirrol-(2,1,3-benzotiadiazol)] y [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo (PTPTB + PCBM).

- 15 La capa de polímero donador-aceptor de electrones puede contener nanotubos de carbono dispersos. Preferentemente, las capas de ánodo y cátodo son metálicas, teniendo la capa de ánodo una función de trabajo mayor que la capa de cátodo. Ventajosamente, el material de la capa de ánodo está distribuido de modo que sólo cubre parcialmente la capa fotovoltaica. Preferentemente, el material de la capa de ánodo presenta una distribución rala en forma de retículo o en estructura de peine. Ventajosamente, la capa de ánodo puede ser de cobre. Preferentemente, la capa de cátodo puede ser de aluminio.

- 20 En una realización preferente de la presente invención, la estructura puede comprender un cuerpo alargado esencialmente cilíndrico con dichas capas superpuestas concéntricamente. El cuerpo esencialmente cilíndrico puede consistir en una fibra. La estructura puede comprender múltiples fibras de este tipo tejidas, trenzadas o dispuestas de otro modo en forma de un tejido o cordón.

- 25 En otra realización preferente, la estructura puede comprender un cuerpo plano con dichas capas superpuestas esencialmente en paralelo con el mismo. El cuerpo plano puede ser una lámina o película.

Preferentemente, los electrodos superior e inferior son metálicos. Convenientemente, los electrodos superior e inferior pueden ser de aluminio.

Ventajosamente, la capa de cátodo y la capa fotovoltaica pueden estar separadas por una capa interpuesta de fluoruro de litio.

- 30 Preferentemente, el sustrato piezoeléctrico comprende fluoruro de polivinilideno (PVDF) o polipropileno o nailon. El sustrato piezoeléctrico puede incluir partículas cerámicas piezoeléctricas dispersas.

La capa fotovoltaica puede comprender células fotovoltaicas sensibles a colorante.

- 35 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un método para formar una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica, incluyendo dicho método los pasos de proporcionar un sustrato piezoeléctrico que comprende un polímero piezoeléctrico y superponer una capa fotovoltaica sobre el sustrato.

- 40 Ventajosamente, el método puede incluir el paso de depositar un electrodo superior y un electrodo inferior sobre el sustrato piezoeléctrico antes de superponer la capa fotovoltaica. El método puede incluir el paso de superponer una capa aislante sobre el sustrato antes de superponer la capa fotovoltaica. Preferentemente, la superposición de la capa fotovoltaica incluye los pasos de sobreponer una capa de cátodo, sobreponer una capa que comprende polímeros donadores de electrones y aceptores de electrones sobre la capa de cátodo, depositar una capa de un polímero bloqueador de electrones (extractor de huecos) transparente sobre la capa de polímero donador-aceptor de electrones y depositar una capa de ánodo sobre la capa de polímero bloqueador de electrones transparente. Ventajosamente, el método puede incluir el paso de depositar una capa de fluoruro de litio sobre dicha capa de cátodo antes de depositar dicha capa de polímero donador-aceptor de electrones sobre la misma.

- 45 Preferentemente, los electrodos superior e inferior son metálicos y están depositados sobre el sustrato piezoeléctrico por evaporación térmica. Ventajosamente, la capa de cátodo es metálica y está depositada por evaporación térmica. Convenientemente, la capa de ánodo es metálica y está depositada sobre la capa de polímero bloqueador de electrones (extractor de huecos) transparente por evaporación térmica.

- 50 Preferentemente, el paso de proporcionar un sustrato piezoeléctrico puede incluir la formación de dicho sustrato mediante un proceso de extrusión. El sustrato piezoeléctrico se puede extrudir a partir de un suministro que comprende gránulos de polímero. El sustrato piezoeléctrico se puede extrudir a partir de un suministro que comprende gránulos compuestos que contienen partículas cerámicas piezoeléctricas dispersas en una matriz de polímero.

Ventajosamente, la capa de polímero donador-aceptor de electrones puede estar formada por deposición de un revestimiento de una solución polimérica utilizando un método de revestimiento por centrifugación o por inmersión.

Alternativamente, la capa de polímero donador-aceptor de electrones se puede formar mediante deposición de un revestimiento de una solución polimérica utilizando un método de fundición, serigrafía, aplicación a rasqueta o impresión por chorro de tinta.

5 La solución polimérica utilizada para formar la capa de polímero donador-aceptor de electrones puede comprender una mezcla de poli(3-hexiltiofeno) (P3HT) y [6,6]-fenil-C61-butanoato de metilo (PCBM), o poli(p-fenilvinileno) (PPV) y poli(2-metoxi-5-propiloxi-sulfonato-1,4-fenilvinileno) (MPS-PPV), o poli[2-metoxi-5-(2'-etilhexiloxi)-1,4-fenilvinileno] (MEH-PPV) y PCBM, o poli[2-metoxi-5-(3',7'-dimetiloxiloxil)-1,4-fenilvinileno] (MDMOPPV) y PCBM, o PPV y fullereno (C60), o poli(3-octiltiofeno) (P3OT) y PCBM, o PCBM y poli[2,6-(4,4-bis(2-ethylhexil)-4H-ciclopenta[2,1-b;3,4-b']ditioleno)-alt-4,7-(2,1,3-benzotiadiazol)] (PCDTBT), o poli[N-dodecil-2,5-bis(2'-tienil)pirrol-(2,1,3-benzotiadiazol)] (PTPTB) y PCBM, estando disuelta dicha mezcla en clorobenceno o 1,2-diclorobenceno o cloroformo.

Ventajosamente, la solución polimérica utilizada para formar la capa de polímero donador-aceptor de electrones puede comprender una mezcla de P3HT y PCBM en una proporción 1:1 en peso. La solución polimérica utilizada para formar la capa de polímero donador-aceptor de electrones puede incluir nanotubos de carbono dispersos. Preferentemente, el método puede incluir el paso de recocer la capa de polímero donador-aceptor de electrones.

15 Convenientemente, la capa de polímero bloqueador de electrones (extractor de huecos) puede estar formada por deposición de un revestimiento de una solución polimérica utilizando un método de revestimiento por centrifugación o por inmersión. Ventajosamente, la capa de polímero bloqueador de electrones puede estar formada por deposición de un revestimiento que comprende una solución de PEDOT:PSS o PTFE. Preferentemente, el método puede incluir el paso de recocer la capa de polímero bloqueador de electrones.

20 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de conversión de energía para convertir energía solar y mecánica en energía eléctrica, que comprende: una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica tal como se define más arriba; un primer circuito conectado a un electrodo superior y un electrodo inferior del sustrato piezoeléctrico; y un segundo circuito conectado con un ánodo y un cátodo de la capa fotovoltaica.

25 Ventajosamente, el primer circuito puede incluir un rectificador. Convenientemente, el segundo circuito puede incluir un controlador de carga. El primer o el segundo circuito o ambos pueden estar conectados con los terminales de un dispositivo de almacenamiento de energía. Convenientemente, el dispositivo de almacenamiento de energía es una batería.

30 De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un método para generar, almacenar, distribuir o consumir energía eléctrica, que incluye: utilizar dicho sistema de conversión de energía para convertir energía mecánica o solar en energía eléctrica; y conectar el primer circuito o el segundo circuito o ambos a un circuito de distribución de electricidad, a una red de distribución de electricidad, a un dispositivo de carga eléctrica o a un dispositivo de almacenamiento de energía.

35 El método puede consistir en un método para generar y distribuir energía eléctrica, que incluye: utilizar dicho sistema de conversión de energía para convertir energía mecánica o solar en energía eléctrica; conectar el primer circuito o el segundo circuito o ambos a un dispositivo de almacenamiento de energía; y conectar el dispositivo de almacenamiento de energía a un circuito de distribución de electricidad, a una red de distribución de electricidad o a una carga eléctrica.

40 De acuerdo con un quinto aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de conversión de energía para convertir energía solar y mecánica en energía eléctrica, que comprende: una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica tal como se describe más arriba, con un elemento fotovoltaico y un elemento piezoeléctrico; un primer circuito conectado al elemento piezoeléctrico; y un segundo circuito conectado al elemento fotovoltaico, estando conectados el primer circuito o el segundo circuito o ambos a un convertidor CC-CC (DC-DC).

El elemento piezoeléctrico puede ser un sustrato piezoeléctrico, estando conectado el primer circuito a un electrodo superior y un electrodo inferior del sustrato piezoeléctrico. El elemento fotovoltaico puede ser una capa fotovoltaica, estando conectado el segundo circuito a un ánodo y un cátodo de la capa fotovoltaica.

45 El primer circuito puede incluir un rectificador, que puede ser un puente rectificador. Convenientemente, el puente rectificador es un puente rectificador de onda completa de baja caída. El rectificador puede ser un chip integrado o una parte de un chip integrado. El primer circuito puede estar conectado, en paralelo con un condensador de almacenamiento, a un convertidor CC-CC. El convertidor CC-CC puede ser un convertidor reductor. El convertidor CC-CC puede ser un chip integrado o una parte de un chip integrado. El convertidor CC-CC y el rectificador pueden formar un chip integrado simple. Convenientemente, el chip de circuito integrado simple puede ser un chip integrado LTC3588, suministrado por Linear Technology Corporation (Milpitas, California), o equivalente. El primer circuito puede incluir una pluralidad de dichos elementos piezoeléctricos y una pluralidad de dichos rectificadores, estando conectados uno o más elementos piezoeléctricos a cada rectificador y estando conectados dichos rectificadores en paralelo.

55 El segundo circuito puede incluir un regulador de tensión, que puede ser un diodo conectado en serie con el elemento fotovoltaico. Convenientemente, el diodo puede ser un diodo Schottky. El segundo circuito puede comprender una pluralidad de dichos elementos fotovoltaicos conectados en serie. El segundo circuito puede estar conectado, en paralelo con dicho condensador de almacenamiento, al citado convertidor CC-CC. Alternativamente, el segundo circuito

puede estar conectado, en paralelo con un segundo condensador de almacenamiento, a un segundo convertidor CC-CC, estando conectadas las salidas de los dos convertidores.

5 El o los convertidores CC-CC pueden estar conectados con un circuito nivelador de salida. El o los circuitos niveladores pueden incluir un condensador de filtrado y una inductancia. Ventajosamente, un diodo de derivación puede conectar un par de terminales de salida del o de los convertidores CC-CC, o puede conectar un par de terminales de salida del circuito o de los circuitos niveladores de salida. El diodo de derivación o cada uno de los diodos de derivación puede ser un diodo Schottky.

10 Una disposición de conversión de energía puede comprender un grupo de sistemas de conversión de energía de acuerdo con el primer aspecto de la invención, estando los sistemas de conversión de energía conectados en serie por sus terminales de salida.

15 El grupo de sistemas de conversión de energía conectados en serie puede estar conectado a un convertidor CC-CC final. El convertidor CC-CC final puede ser un convertidor elevador. La disposición de conversión de energía puede comprender además una pluralidad de dichos convertidores CC-CC finales, cuyos terminales de entrada están conectados en cada caso con un grupo respectivo de sistemas de conversión de energía conectados en serie y cuyos terminales de salida están conectados en cada caso con un bus de línea de energía.

20 Alternativamente, el grupo de sistemas de conversión de energía conectados en serie puede estar conectado a un inversor CC-CA. La disposición de conversión de energía puede comprender además una pluralidad de dichos inversores CC-CA, cuyos terminales de entrada están conectados en cada caso con un grupo respectivo de sistemas de conversión de energía conectados en serie y cuyos terminales de salida están conectados en cada caso con un bus de línea de energía.

Descripción detallada de la invención

Para una comprensión más clara de la invención, a continuación se describen realizaciones de la misma, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- 25 **Figura 1:** dibujo en perspectiva de una sección de una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica laminar, tal como una película, de acuerdo con una realización de la presente invención;
- Figura 2:** dibujo en perspectiva de una sección de una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica concéntrica, tal como una fibra, de acuerdo con otra realización de la presente invención;
- Figura 3:** diagrama de flujo que muestra un método para preparar las estructuras piezoeléctricas-fotovoltaicas de las Figuras 1 y 2;
- 30 **Figura 4:** vista esquemática de un sistema de conversión de energía de acuerdo con otra realización de la presente invención, que incluye la estructura piezoeléctrica-fotovoltaica de la Figura 1;
- Figura 5:** diagrama de circuito que presenta un circuito rectificador adecuado para su uso en el sistema de conversión de energía de la Figura 4;
- 35 **Figura 6:** esquema de una unidad celular de sistema de conversión de energía de acuerdo con otras realizaciones de la presente invención;
- Figura 7:** diagrama de circuito que muestra múltiples unidades celulares conforme a la Figura 6, que comprenden en cada caso uno o más elementos piezoeléctricos y uno o más elementos fotovoltaicos, estando las unidades celulares conectadas en serie para formar una disposición de conversión de energía de acuerdo con otra realización de la presente invención;
- 40 **Figura 8:** diagrama de circuito que muestra la unidad celular de la Figura 6, que comprende múltiples elementos piezoeléctricos y múltiples elementos fotovoltaicos;
- Figura 9:** diagrama de circuito que muestra otra unidad celular de acuerdo con la presente invención, donde un circuito que conecta múltiples elementos piezoeléctricos está conectado con un primer convertidor CC-CC y un circuito que conecta múltiples elementos fotovoltaicos está conectado con un segundo convertidor CC-CC; y
- 45 **Figura 10:** esquema de la disposición de conversión de energía de la Figura 8, que muestra múltiples unidades celulares conectadas en serie y conectadas a un bus de línea de energía de salida a través de los respectivos convertidores CC-CC o inversores CC-CA.

50 Las Figuras 1 y 2 muestran estructuras piezoeléctricas-fotovoltaicas híbridas laminares y en capas concéntricas, tales como una película y una fibra, respectivamente. La fibra o película se prepara utilizando un polímero piezoeléctrico, como PVDF, como sustrato para la célula fotovoltaica. Después se depositan capa a capa sobre la fibra o película de PVDF materiales fotovoltaicos donadores y aceptores de carga de base orgánica, como P3HT y PCBM, y materiales de

electrodo, como aluminio y cobre. Más abajo se presenta con mayor detalle un método para producir fibras y películas de este tipo, tal como se indica en la Figura 3.

I. Deposición del electrodo sobre el sustrato de polímero piezoeléctrico:

5 Un sustrato de PVDF polarizado piezoeléctricamente en forma de fibra (9) o película (7) se deposita con un par de electrodos metálicos (6, 8) y después se lamina con una capa aislante (5, 10). Los dos electrodos pueden cubrir esencialmente las superficies superior e inferior de un sustrato en forma de película, respectivamente, o pueden cubrir esencialmente los 180 grados superiores y los 180 grados inferiores de una superficie de sustrato en forma de fibra, respectivamente. Se elige PVDF para el sustrato porque es un polímero piezoeléctrico bien conocido con un coeficiente de desplazamiento de carga, d_{33} , de aproximadamente 35 pC/N para una película de 25 μm d espesor. Además de
10 poseer un alto d_{33} constante, se trata de un polímero muy estable. El PVDF es fácil de extrudir por fusión en películas o fibras delgadas, con una temperatura de fusión relativamente baja de 175°C.

15 Materiales alternativos para el sustrato piezoeléctrico pueden incluir polipropileno, nailon y cualquier otro polímero que pueda formar una fibra o película de sustrato adecuadamente resiliente y estable y pueda ser polarizado piezoeléctricamente. Los electrodos sobre el sustrato piezoeléctrico se depositan mediante evaporación térmica de un buen conductor eléctrico. Alternativamente, si el sustrato está en forma de película, los electrodos se pueden depositar aplicando con rasqueta una pasta conductora. En caso de una película, después se lamina una capa de aislamiento eléctrico (5) sobre el electrodo superior de la parte piezoeléctrica; en caso de una fibra, el aislamiento (10) se lamina sobre los dos electrodos encerrando esencialmente la fibra.

II. Deposición de cátodo sobre la parte piezoeléctrica laminada:

20 Un cátodo de aluminio (4, 11) se deposita sobre la parte piezoeléctrica laminada (7, 9) mediante evaporación térmica. El material de cátodo debería tener una función de trabajo menor que la del ánodo. Como material de cátodo se elige aluminio, ya que tiene una menor función de trabajo que el cobre. En una realización preferente, sobre la película (7) o fibra (9) piezoeléctrica laminada se deposita aluminio con un espesor de al menos 250 nm.

III. Solución para formar un material donador-aceptor de electrones:

25 Se mezclan P3HT y un PCBM en una proporción 1:1 en peso en clorobenceno, ya que se considera que éste aumenta al máximo el rendimiento cuántico de conversión de la célula solar. La solución se prepara con una concentración del material activo P3HT + PCBM de 10 mg/ml, ya que se considera que ésta produce un mayor rendimiento cuántico que cualquier otra concentración. La solución se agita después durante 9 horas a 200 rpm. La mezcla se mantiene dentro de un recipiente opaco y hermético durante toda la operación de agitación.

30 *IV. Aplicación de una capa donadora-aceptora de electrones mediante revestimiento por centrifugación/inmersión:*

Sobre el sustrato de PVDF revestido con aluminio se deposita una capa activa de P3HT + PCBM utilizando un equipo de revestimiento por centrifugación o por inmersión. El revestimiento por centrifugación puede producir una capa activa con un espesor de 100-150 nm a una velocidad de 1.000 rpm a partir de una concentración de 10 mg/ml de P3HT y PCBM disueltos en clorobenceno. Se considera que este es un espesor óptimo para lograr un alto rendimiento cuántico
35 de conversión. Para revestir el material activo se utiliza una velocidad de revestimiento por centrifugación de 200 rpm durante los primeros 10 segundos, seguida de 500 rpm durante otros 10 segundos y finalmente 1.000 rpm durante 40 segundos. Este procedimiento en varios pasos se ha adoptado para obtener un espesor uniforme. Durante el revestimiento, una máscara cubre la estructura para mantener determinadas áreas libres de material activo con el fin de permitir el acceso al cátodo de aluminio para conectar posteriormente conductores.

40 *V. Recocido de la estructura preparada en los pasos I a IV:*

Se ha demostrado que el recocido del material fotovoltaico activo orgánico produce un mejor rendimiento cuántico de conversión de la célula solar. La estructura construida con los pasos I a IV arriba descritos se recuece a una temperatura de 110°C. Una temperatura de recocido de 250°C produciría una mayor eficiencia que esta temperatura más baja, pero sobrepasa el punto de fusión y el punto Curie del PVDF, por lo que dañaría el sustrato piezoeléctrico.
45 Por ello, se elige una temperatura máxima de 110°C.

VI. Aplicación de la capa bloqueadora de electrones (extractora de huecos) mediante revestimiento por centrifugación/inmersión:

Como capa inyectora/extractora de huecos desde la capa activa hasta el ánodo de la célula solar se utiliza una capa de PEDOT:PSS (2, 13). También actúa como capa bloqueadora de electrones que impide una desviación electrónica difusa hacia el ánodo. Una solución de PEDOT:PSS se aplica por centrifugación sobre la capa activa a alta velocidad, de hasta
50 5.000 rpm, para obtener un espesor de aproximadamente 40-50 nm. En los dos pasos IV y VI, el revestimiento por centrifugación es preferente para una estructura laminar/de película; si la estructura es una fibra, entonces es preferible el revestimiento por inmersión en los dos pasos.

VII. Recocido de la estructura preparada en los pasos I a VI:

5 El recocido del material bloqueador de electrones o de extracción de huecos mejora el rendimiento cuántico de conversión de la célula solar. La estructura construida siguiendo los pasos I a VI arriba descritos se recuece a una temperatura de 110°C durante un breve tiempo, de aproximadamente 30 minutos. El tiempo y la temperatura de recocido del PEDOT:PSS no produce mucha variación en la eficiencia de las células solares orgánicas.

VIII. Evaporación térmica de estructura de peine de cobre, 1 y 14

10 La deposición de ánodo sobre la parte superior de la célula solar debería presentar una distribución rala para bloquear la menor cantidad de luz solar posible. Una estructura de peine con púas finas que se extienden desde un lomo (como muestra la Figura 1) puede lograr un buen transporte de electrones al metal del ánodo con un bloqueo mínimo de la luz solar. El ánodo que cubre una fibra (como en la Figura 2) también debería presentar una distribución rala, como en forma de peine o retículo (no mostrado). Como material de ánodo se elige cobre porque tiene una mayor función de trabajo que el material de cátodo, el aluminio. El ánodo de cobre se deposita a temperatura ambiente utilizando un equipo de evaporación térmica. Es preferible un espesor de cobre superior a 200 nm para lograr una resistencia relativamente baja a través de los conductores que se conectarán a la célula solar.

15 En uso, la parte fotovoltaica de la estructura híbrida genera una corriente a través del ánodo y el cátodo en respuesta a la luz solar y la parte piezoeléctrica de la estructura genera una tensión fluctuante a través del par de electrodos en respuesta al movimiento. La corriente de la parte fotovoltaica y la tensión de la parte piezoeléctrica proporcionan independientemente energía eléctrica de fuentes de energía solares o mecánicas. Esta energía se puede almacenar o utilizar, por ejemplo tal como se expone más abajo.

20 En una realización de la presente invención, la eficiencia de la estructura híbrida se mejora depositando una capa de LiF (fluoruro de litio) sobre el cátodo de aluminio (4, 11) antes de aplicar la capa activa de PCBM + P3HT (3, 12). Ésta actúa como una capa bloqueadora de huecos.

25 En otra realización, en la mezcla de materiales activos se incluye una solución coloidal de nanotubos de carbono de pared simple y de pared múltiple (SWCNT y MWCNT). Esto puede mejorar la eficiencia de la célula solar orgánica al mejorar la difusión de portadores de carga desde los materiales activos hasta los electrodos.

En otra realización se depositan células solares sensibles a colorante sobre la parte superior del sustrato de película o fibra de PVDF (7, 9) que forma la parte piezoeléctrica de la célula híbrida.

En lugar del PVDF también se pueden utilizar otros tipos diversos e sustratos piezoeléctricos flexibles, como PFC (fibra piezoeléctrica compuesta), polipropileno piezoeléctrico (PP), nailon, etc.

30 *IX. Circuito básico para combinar energía solar y piezoeléctrica:*

35 En una realización mostrada en la Figura 4, el ánodo (1) y el cátodo (4) de la parte fotovoltaica de la estructura híbrida están conectados a un controlador de carga (14), que está conectado a su vez a una unidad de almacenamiento de energía, tal como una batería (16) o un condensador. El controlador de carga puede evitar que la batería se descargue cuando no hay luz solar. Los electrodos superior e inferior (6, 8) de la parte piezoeléctrica de la estructura híbrida están conectados a un circuito rectificador (15), que también está conectado a su vez a una batería u otro dispositivo de almacenamiento (16). Cada uno de los dos circuitos puede estar conectado al mismo dispositivo de almacenamiento o a un dispositivo de almacenamiento independiente. El circuito rectificador (tal como muestra la Figura 5) puede comprender un puente rectificador compuesto por cuatro diodos (18) y un condensador (17). Los diodos y el condensador convierten la señal de tensión de frecuencia y amplitud fluctuantes en una señal de tensión CC más uniforme.

Los circuitos de conversión de energía de la parte piezoeléctrica (15) también se pueden modificar añadiendo un inductor y un conmutador digital (cosecha por conmutador sincronizado o inductor) para una conversión más eficiente de una frecuencia y tensión fluctuantes en una tensión CC más constante.

45 En otra realización, la energía se utiliza en línea sin almacenarse en ningún dispositivo de almacenamiento eléctrico, como una batería o condensador. Por ejemplo, si la energía solar y/o la energía mecánica, procedente por ejemplo de vientos, mareas, olas o lluvia, son abundantes, y/o si el uso de energía es bajo, la electricidad generada se puede utilizar directamente sin necesidad de ningún dispositivo de almacenamiento.

X. Otros circuitos para la recogida y la transmisión de energía:

50 Otras realizaciones se refieren a circuitos que convierten las tensiones generadas por las partes piezoeléctricas y fotovoltaicas en una tensión CC constante y también evitan que la energía almacenada se descargue a través de las partes fotovoltaicas y piezoeléctricas del dispositivo. Esto puede permitir que el dispositivo funcione como un dispositivo de recogida de energía eficiente, suministrando energía convertida eficientemente a partir de energía mecánica y solar.

En la Figura 6 se muestra una disposición esquemática de los circuitos, en los que la carga es recogida por partes fotovoltaicas (21) y piezoeléctricas (22) del cosechador de energía por separado a través de diferentes elementos

rectificadores (23, 24). La parte fotovoltaica (21) de la célula híbrida produce una tensión CC constante y, por tanto, el elemento rectificador (23) utilizado puede ser un rectificador de diodo simple de tipo Schottky ordinario, mientras que la parte piezoeléctrica (22) de las células híbridas utiliza un chip integrado LTC3588 (27), suministrado por Linear Technology Corporation (Milpitas, California), que comprende un puente rectificador de onda completa de baja pérdida acoplado a un convertidor Buck de alta eficiencia para convertir la señal de CA, que varía de forma aleatoria, en una tensión CC constante. El chip integrado (IC) tiene cuatro tensiones de salida: 1,8 V, 2,5 V, 3,3 V y 3,6 V, con una tensión de entrada ajustada a 20 V con un *shunt* protector. Tanto los elementos rectificadores (23, 24) de la parte fotovoltaica (21) como los de la parte piezoeléctrica (22) están conectados a un condensador de almacenamiento (25), que entonces está conectado a un convertidor Buck CC-CC de alta eficiencia.

La Figura 7 muestra en diagrama de circuito de cada unidad celular (30) del cosechador de energía híbrido conectada en serie. Cada unidad celular (30) comprende un diodo Schottky (23) para regular la tensión procedente de la parte fotovoltaica (21) de la célula híbrida. Un condensador conectado desde el diodo hasta un IC LTC3588 (27) está también conectado mediante la parte piezoeléctrica de la célula híbrida (22). La parte piezoeléctrica del cosechador de energía está conectada al IC LTC3588 mediante las clavijas PZ1 y PZ2, y la parte fotovoltaica del dispositivo está conectada al IC LTC3588 mediante las clavijas Vin y GND. La carga/energía eléctrica procedente de la parte fotovoltaica se almacena en el condensador C2 a través del diodo; el mismo condensador también almacena la carga/energía eléctrica procedente de la parte piezoeléctrica del cosechador de energía híbrido a través del rectificador de 4 diodos de onda completa integral con el IC LTC3588.

La entrada eléctrica Vin en la clavija 4 del IC LTC3588 es la suma de la carga/energía eléctrica de las partes fotovoltaicas y piezoeléctricas del cosechador de energía híbrido. La salida de tensión Vout en la clavija 6 del IC LTC3588 está conectada al inductor L2 (29) y al condensador C4 (25), que forman un circuito nivelador para regular la tensión de salida. Esta tensión de salida se conecta entonces a través del diodo D2 (28), que sirve para impedir el flujo inverso de corriente. Otra Vin en la clavija 7 (un carril interno de baja tensión que sirve como accionamiento de puerta para el conmutador NMOS de convertidor Buck del IC) está conectada con el otro electrodo de la parte fotovoltaica del cosechador híbrido a través de un condensador C3. Este está conectado a tierra (GND) del IC LTC3588 junto con las clavijas 9 y 8 (a diferencia de la parte piezoeléctrica, en la que los dos electrodos están conectados a los terminales PZT1 y PZT2 respectivos del IC).

En la realización específica mostrada, la salida de tensión en la clavija de tierra (GND) y en la clavija 6 del LTC3588 es de aproximadamente 1,8 V. En la Figura 7 se puede ver que varias (n) unidades celulares básicas (30) están conectadas en serie. La tensión global de toda la serie es n veces la salida de tensión de la unidad celular, es decir, ($n \times 1,8$) V. Si cualquiera de las unidades básicas dejara de funcionar, por ejemplo debido a algún daño de la unidad o debido a un nivel insuficiente de energía solar, la unidad celular sería derivada a través de su diodo de derivación D2 (28), con lo que la tensión de salida de serie sería $((n - 1) \times 1,8)$ V.

Los circuitos electrónicos utilizados comúnmente en células solares comerciales para recoger la carga fotovoltaica y almacenarla en un dispositivo de almacenamiento de energía pueden fallar por completo si no funciona una de las muchas células conectadas en la disposición. La disposición en serie con diodo de derivación D2 (28) resulta ventajosa, ya que el fallo de una unidad celular o de una cantidad pequeña de unidades celulares dentro de la disposición mayor en serie de células solares no impide el funcionamiento del dispositivo de cosecha de energía; más bien, la disposición continúa suministrando la energía generada por las demás células solares que siguen siendo funcionales.

La unidad celular básica mostrada en la Figura 7 está prevista para un cosechador de energía fotovoltaico-piezoeléctrico híbrido en el que los elementos piezoeléctricos y fotovoltaicos híbridos están en una forma con un tamaño relativamente grande, como elementos en forma de película o de tira. En caso de elementos de menor tamaño, por ejemplo en forma de fibras, cada elemento actuaría como una célula cosechadora híbrida y, en consecuencia, requeriría un IC LTC3588 (27) respectivo, lo que puede ser prohibitivo en términos de coste o de espacio. Para superar este problema, varios o muchos elementos piezoeléctricos (22), como fibras o partes de fibras, pueden estar conectados en cada caso con un puente rectificador de onda completa de alta eficacia (24) respectivo, como muestra la Figura 8. En este caso, los puentes rectificadores de onda completa están conectados en paralelo a un condensador de almacenamiento C2. Varias partes fotovoltaicas (21) de las células híbridas pueden estar conectadas en serie al diodo D1, como muestra la Figura 8.

El número de fibras conectadas en serie antes de conectarlas al IC está limitado por el límite de entrada de tensión del IC, que es de 20 V en el caso del LTC3588. Cuando se utiliza un número grande de fibras, este límite se puede aumentar eligiendo un IC comercialmente disponible adecuado y similar al LTC3588, o sustituyendo el LTC3588 por dos convertidores CC-CC de baja potencia, como muestra la Figura 9. Varias partes piezoeléctricas (22) de las células híbridas están conectadas en cada caso con un puente rectificador de onda de alta eficacia (24) respectivo. Estos rectificadores están conectados en serie y la tensión/carga final se almacena en el condensador C2, que está conectado a un convertidor CC-CC de baja potencia y alta tensión (32). Las partes fotovoltaicas de las fibras híbridas están conectadas en serie y la tensión/carga se almacena en el condensador C1, que está conectado a un convertidor CC-CC de baja potencia y baja tensión (33).

La Figura 10 es un esquema que muestra varias columnas de unidades celulares (30), comprendiendo cada columna un grupo de unidades celulares conectadas en serie a un convertidor CC-CC o a un inversor CC-CA (31), dependiendo de la naturaleza de la carga requerida. Estas columnas están conectadas en paralelo a un bus de línea de energía de salida (35) de acuerdo con los requisitos del rango de corriente del cosechador de energía.

- 5 Cuando varios elementos híbridos están conectados en serie a un circuito rectificador simple, la eficiencia de conversión es considerablemente menor que cuando cada elemento está conectado a su respectivo circuito rectificador. En las realizaciones mostradas en las Figuras 6-10, este problema se resuelve conectando elementos piezoeléctricos individuales a su respectivo circuito rectificador antes de conectar los circuitos rectificadores a un condensador de almacenamiento acoplado con un convertidor CC-CC dentro de cada unidad celular (30) del cosechador (como muestran las Figuras 6-9). Esto permite utilizar muchos elementos piezoeléctricos sin ninguna pérdida significativa de eficiencia de conversión (como muestran las Figuras 7-9). Además permite conectar en serie varias o muchas de estas unidades celulares directamente a una carga o a un convertidor CC-CC o un inversor CC-CA (como muestra la Figura 10), con lo que se logra una alta eficiencia de recogida de carga.
- 10 Como ejemplo de un uso posible de la invención, las fibras y/o películas de material piezoeléctrico-fotovoltaico híbrido se pueden reunir en disposiciones o agrupaciones en forma de hojas en un árbol o rama. Por ejemplo, una disposición de unidades celulares (30) que comprenden elementos fotovoltaicos y piezoeléctricos, tal como muestra la Figura 10, o una disposición de elementos híbridos (34) tal como muestra la Figura 9, pueden formar un árbol o pueden formar unidades de rama u hoja dentro de estas estructuras de árbol. Después se exponen a la luz solar, el viento y/o la lluvia para recoger energía del medio ambiente para su almacenamiento y distribución.
- 15 Estas realizaciones están descritas únicamente a modo de ejemplo. Muchas variaciones son posibles sin salirse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica para convertir energía solar y mecánica en energía eléctrica, que presenta múltiples capas superpuestas, incluyendo una capa fotovoltaica (2, 3, 12, 13) y un sustrato piezoeléctrico (7, 9), caracterizada porque dicho sustrato comprende un polímero piezoeléctrico.
- 5 2. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según la reivindicación 1, caracterizada porque el sustrato piezoeléctrico está interpuesto entre un electrodo superior (6) y un electrodo inferior (8).
3. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa fotovoltaica está interpuesta entre una capa de ánodo exterior (1, 14) y una capa de cátodo interior (4, 11).
- 10 4. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa fotovoltaica comprende una subcapa exterior de un polímero bloqueador de electrones (extractor de huecos) transparente (2, 13) y una subcapa interior de polímeros donadores de electrones y aceptores de electrones (donadores-aceptores) (3, 12).
- 15 5. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque comprende un cuerpo alargado esencialmente cilíndrico con dichas capas superpuestas concéntricamente.
6. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizada porque comprende un cuerpo plano con dichas capas superpuestas esencialmente en paralelo con el mismo.
7. Estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el sustrato piezoeléctrico comprende partículas cerámicas piezoeléctricas dispersas.
- 20 8. Método para formar una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica, que incluye los pasos de proporcionar un sustrato piezoeléctrico (7, 9) que comprende un polímero piezoeléctrico y superponer una capa fotovoltaica (2, 3, 12, 13) sobre el sustrato.
- 25 9. Método para formar una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según la reivindicación 8, caracterizado porque incluye el paso de depositar un electrodo superior (6) y un electrodo inferior (8) sobre el sustrato piezoeléctrico antes de superponer la capa fotovoltaica.
10. Método para formar una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según la reivindicación 8 o 9, caracterizado porque incluye el paso de superponer una capa aislante (5, 10) sobre el sustrato antes de superponer la capa fotovoltaica.
- 30 11. Método para formar una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado porque la superposición de la capa fotovoltaica incluye los pasos de sobreponer una capa de cátodo (4, 11), sobreponer una capa que comprende polímeros donadores de electrones y aceptores de electrones (3, 12) sobre la capa de cátodo, depositar una capa de un polímero bloqueador de electrones (extractor de huecos) transparente (2, 13) sobre la capa de polímero donador-aceptor de electrones y depositar una capa de ánodo (1, 14) sobre la capa de polímero bloqueador de electrones transparente.
- 35 12. Método para formar una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado porque el paso de proporcionar el sustrato piezoeléctrico incluye la formación de dicho sustrato mediante un proceso de extrusión.
- 40 13. Sistema de conversión de energía para convertir energía solar y mecánica en energía eléctrica, que comprende: una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7; un primer circuito (15) conectado a un electrodo superior (6) y un electrodo inferior (8) del sustrato piezoeléctrico; y un segundo circuito (14) conectado con un ánodo (1) y un cátodo (4) de la capa fotovoltaica.
- 45 14. Método para generar, almacenar, distribuir o consumir energía eléctrica, que incluye: la utilización de un sistema de conversión de energía según la reivindicación 13 para convertir energía mecánica o solar en energía eléctrica; y la conexión del primer circuito o el segundo circuito, o ambos, a un circuito de distribución de electricidad, a una red de distribución de electricidad, a un dispositivo de carga eléctrica o a un dispositivo de almacenamiento de energía.
- 50 15. Sistema de conversión de energía para convertir energía solar y mecánica en energía eléctrica, que comprende: una estructura piezoeléctrica-fotovoltaica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que incluye un elemento fotovoltaico (21) y un elemento piezoeléctrico (22); un primer circuito conectado al elemento piezoeléctrico; y un segundo circuito conectado al elemento fotovoltaico, estando conectados el primer circuito o el segundo circuito o ambos a un convertidor CC-CC (26, 27, 31, 32, 33).

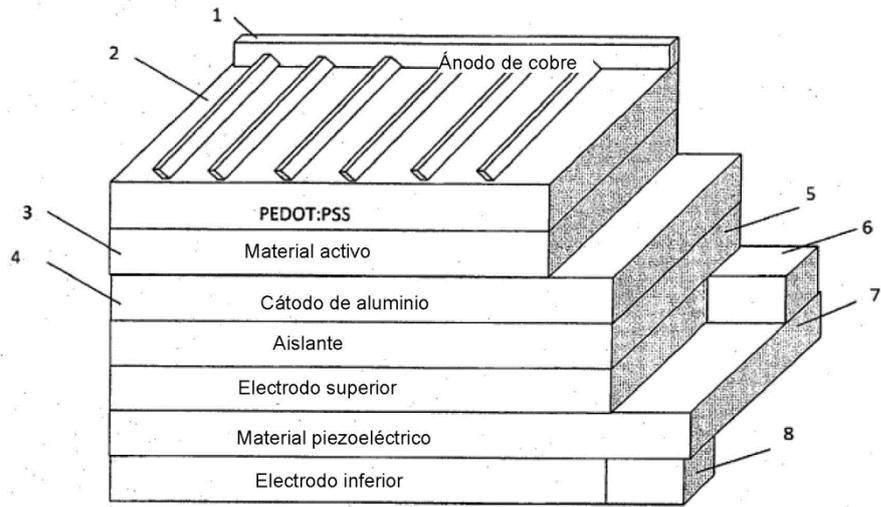


Figura 1

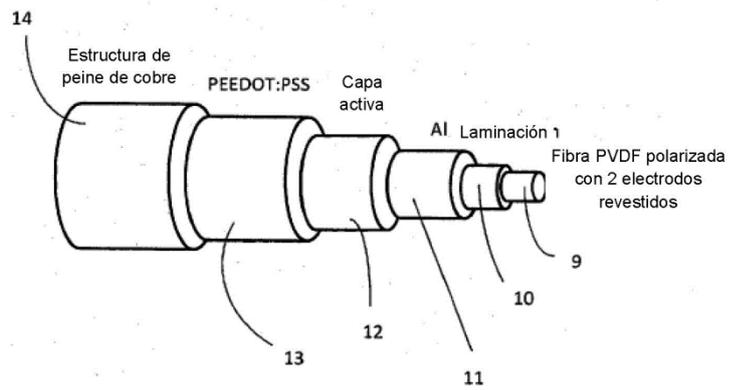


Figura 2

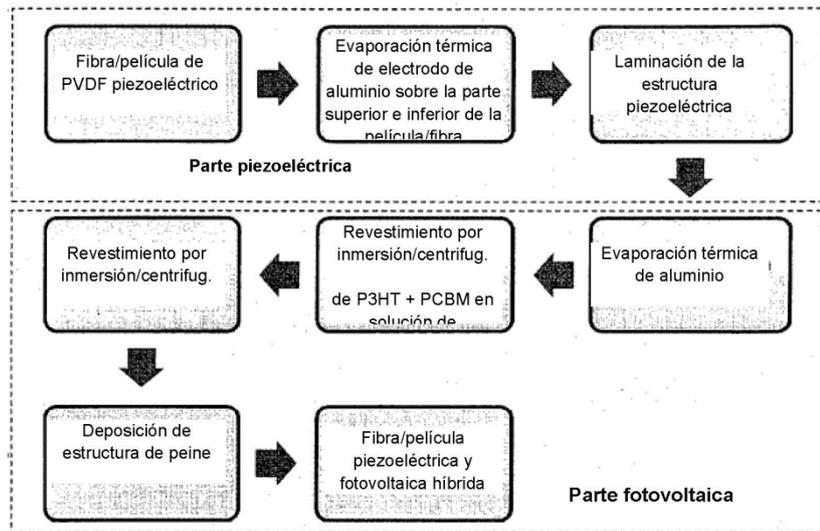


Figura 3

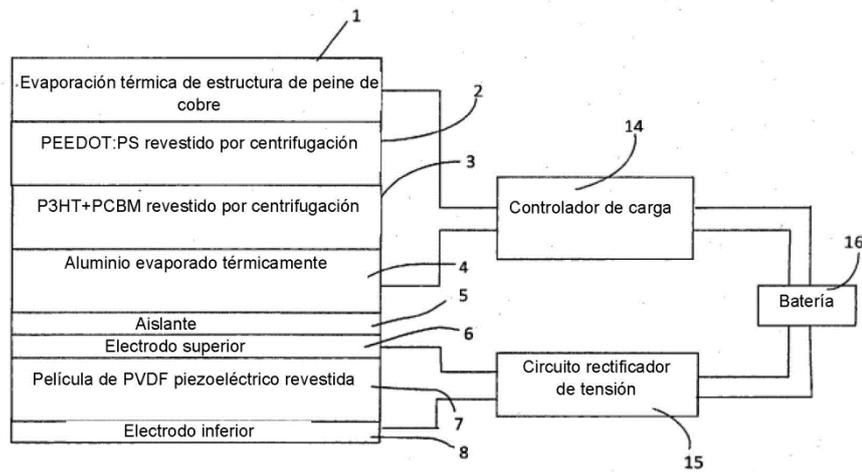


Figura 4

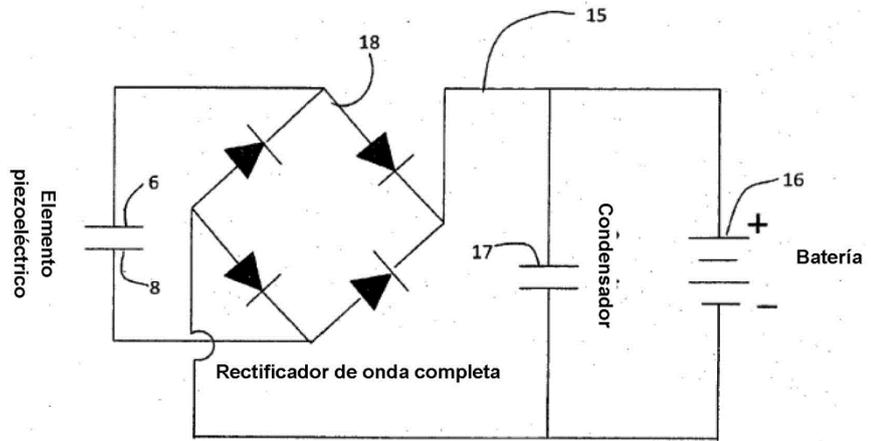


Figura 5

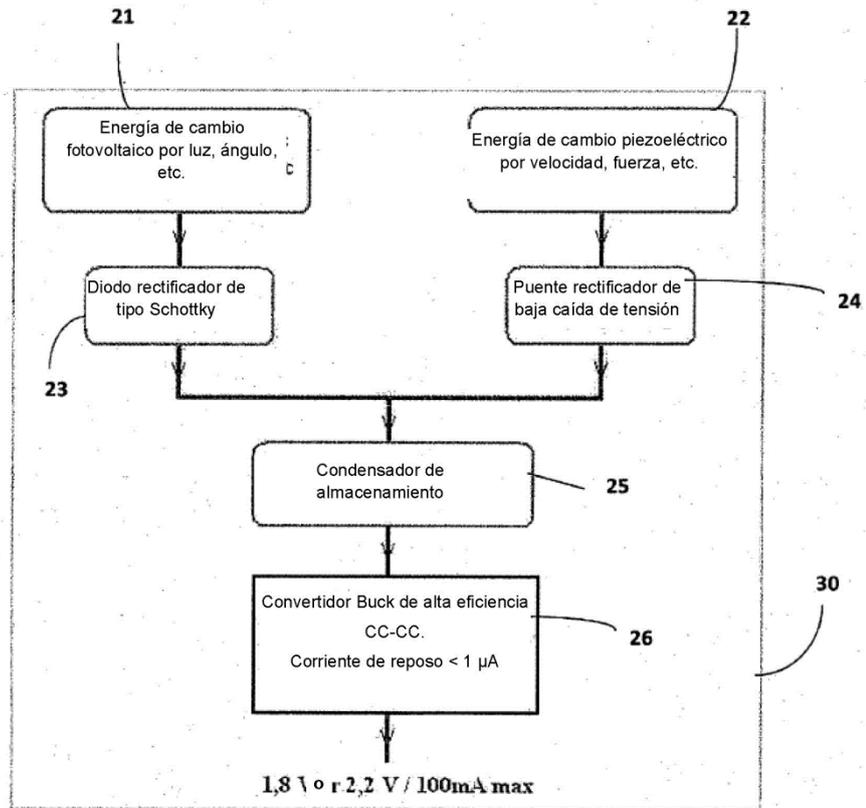


Figura 6

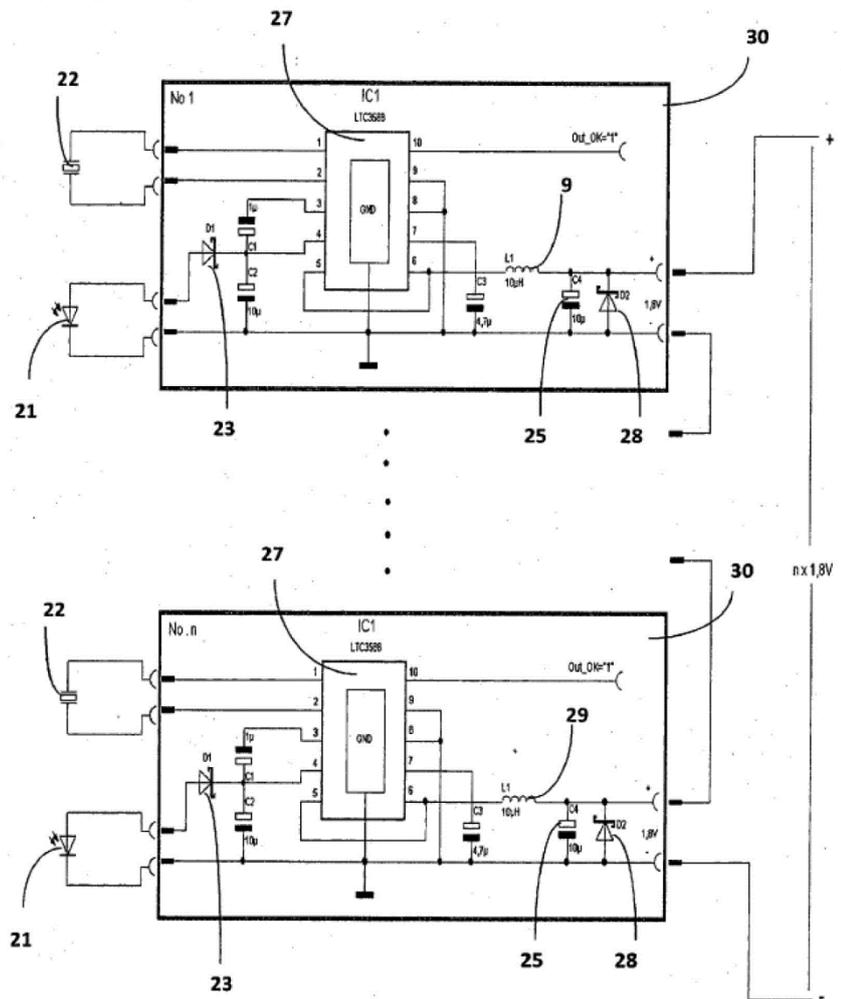


Figura 7

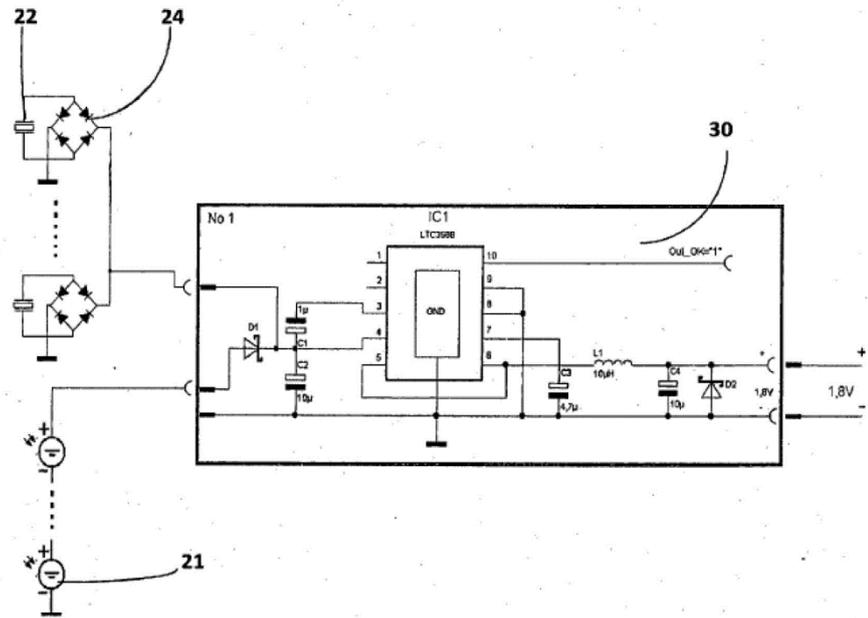


Figura 8

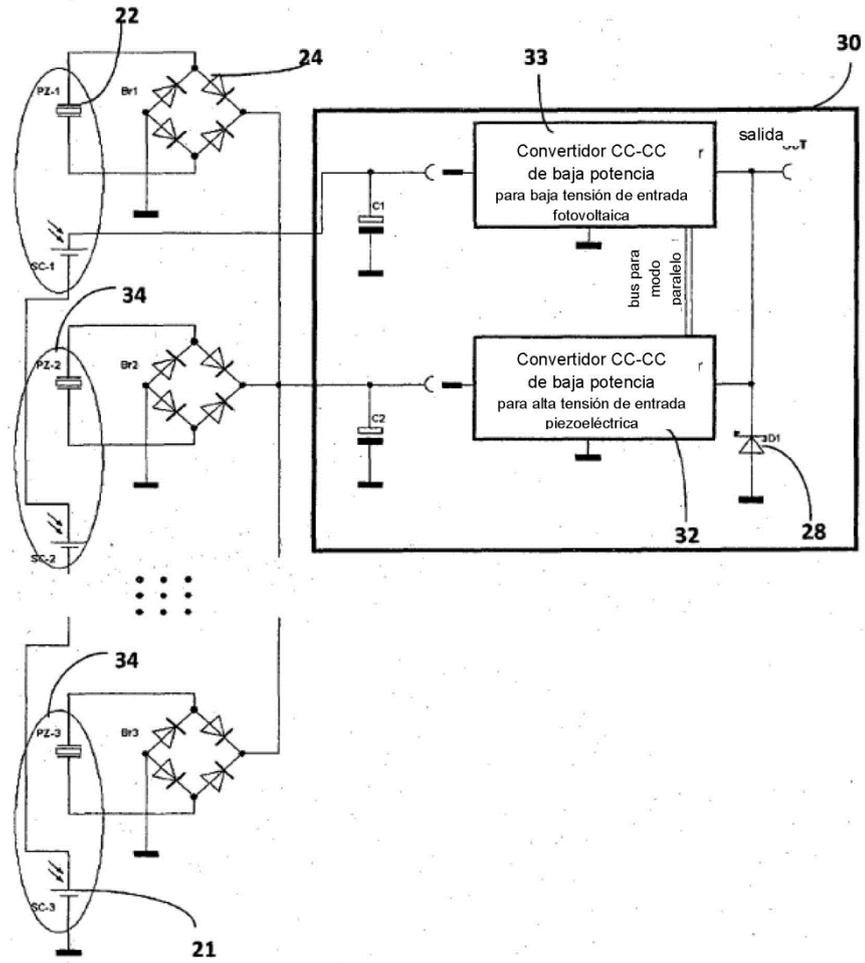


Figura 9

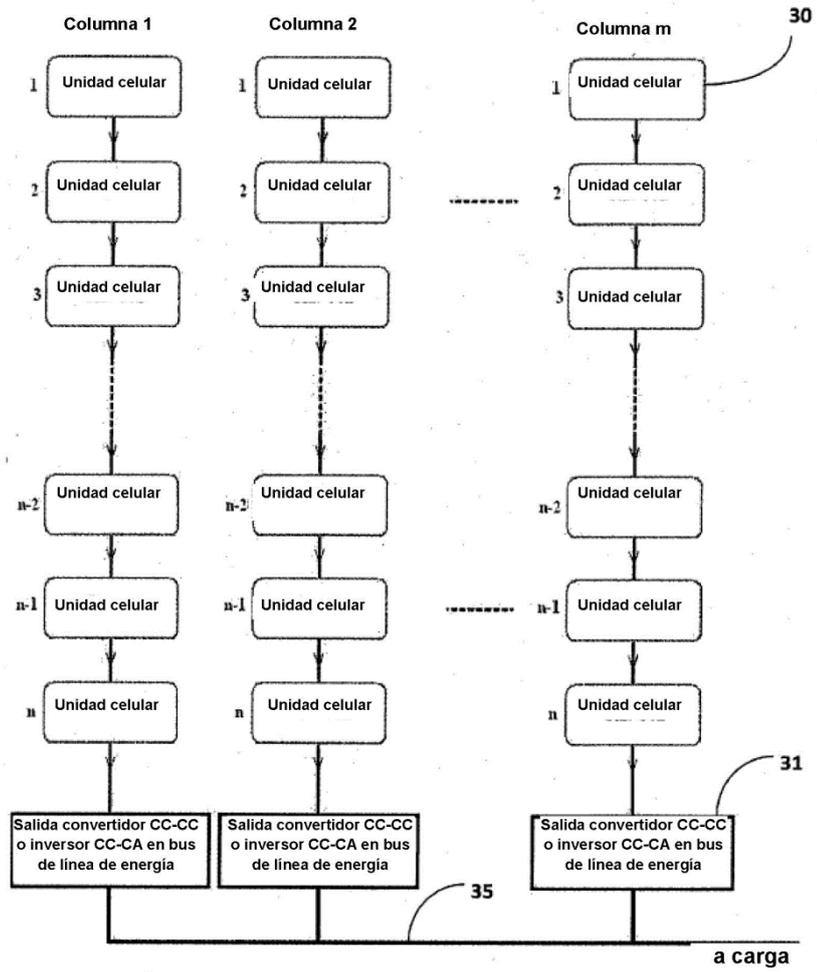


Figura 10