

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 874**

51 Int. Cl.:

H01M 12/08 (2006.01)

H01M 4/86 (2006.01)

H01M 4/38 (2006.01)

H01M 4/96 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2016 PCT/IB2016/054547**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.02.2017 WO17021840**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2016 E 16754330 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 3329543**

54 Título: **Batería de Li/O2 de flujo semi-sólido**

30 Prioridad:

31.07.2015 IT UB20152701

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2020

73 Titular/es:

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA (100.0%)
Via Zamboni, 33
40126 Bologna, IT**

72 Inventor/es:

**SOAVI, FRANCESCA;
ARBIZZANI, CATIA y
RUGGERI, IRENE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 742 874 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

Batería de Li/O₂ de flujo semi-sólido

5 En general, la presente divulgación se relaciona con baterías de oxígeno y litio. Específicamente, la presente divulgación se relaciona con baterías de flujo de oxígeno y litio que comprenden un electrolito semisólido y a su uso para aplicaciones estacionarias, en particular como baterías para plantas de energía renovable, y en el sector automotriz, en particular como baterías para vehículos eléctricos.

10 Antecedentes

El cambio climático se ha convertido en una preocupación creciente en los últimos años y se ha dirigido mucha investigación a la provisión de nuevas fuentes de energía y medios eficientes para almacenar y convertir energía. Entre los dispositivos de conversión y almacenamiento de energía investigados, se ha encontrado que las baterías de oxígeno y litio, también conocidas como baterías de aire de litio, presentan muchas ventajas sobre las celdas electroquímicas convencionales y las baterías de litio. Las baterías de oxígeno y litio (Li/O₂) pueden utilizar oxígeno del aire en lugar de almacenar un oxidante interno. Debido a la muy alta capacidad específica del cátodo de oxígeno y el ánodo de litio, las baterías de oxígeno y litio han atraído mucho interés por parte de los científicos tanto en la industria como en la academia. Por ejemplo, la energía específica práctica de las baterías de oxígeno y litio es de 500 W h kg⁻¹, que es de 2 a 3 veces mayor que la de las mejores baterías de iones de litio disponibles en el mercado en la actualidad.

Las baterías de Li/O₂ están compuestas por un ánodo de litio, un cátodo y un electrolito. La reacción RÉDOX de oxígeno (ORR) tiene lugar en la interfaz de cátodo sólido/electrolito. El cátodo sólido es una capa de carbón/catalizador que se carga con oxígeno; el ánodo es normalmente una lámina de metal de Li. En las baterías apróticas de Li/O₂ no acuosas, la reacción del cátodo implica la formación de especies de superóxido, peróxido y óxido de litio sobre la superficie del cátodo. Durante la recarga, se espera que dichas especies se vuelvan a oxidar para dar gas de oxígeno. La baja conductividad del peróxido de litio sólido y el óxido de litio sólido provoca el aislamiento del electrodo, lo que afecta la capacidad de descarga del cátodo y determina los sobrepotenciales de recarga del cátodo. Mientras que los potenciales de descarga del cátodo son aproximadamente 2.5-2.7 V vs. Li⁺/Li, los potenciales de recarga son normalmente más altos que 3.5 V vs. Li⁺/Li. Esto hace que la elección de los electrolitos sea crucial.

Mientras que los electrolitos basados en carbonato y éter no son estables frente a las especies de radicales de oxígeno o a los altos potenciales requeridos para la recarga, los electrolitos basados en dimetilsulfóxido, líquidos iónicos y tetraetilenglicol dimetil éter (TEGDME) se consideran una buena alternativa. Hasta la fecha, se han informado sobre dos tipos de configuraciones de baterías de Li/O₂ no acuosas: celdas que respiran aire, en las que el cátodo está en contacto directo con oxígeno gaseoso (o aire) y las celdas de flujo, en las que el electrolito se carga con oxígeno.

Las baterías de flujo RÉDOX son otro tipo de batería y tienen un sistema de dos electrolitos en el que los dos electrolitos, que actúan como portadores de energía líquida, se bombean simultáneamente a través de las dos medias celdas de la celda de reacción separadas por una membrana. La membrana permite el paso de iones y, de esta forma facilita el intercambio iónico entre los dos electrolitos. Los electrones que se liberan en este proceso se pueden mover alrededor del circuito externo y funcionan. El electrolito en las baterías de flujo se almacena externamente a la celda y se bombea a través de la celda. Se puede reemplazar y, de esta forma la batería se puede "recargar" y se puede volver a cargar cualquier material gastado.

Mihai Duduta et al. (Adv. Energy Mater., 2011, 1, 511-516) informa sobre una batería de flujo recargable de iones de litio semisólida. Esta batería de flujo consta de electrodos positivos y negativos compuestos de partículas suspendidas en un líquido portador. Las partículas fluyen en los compartimientos catódico o anódico que están separados por membranas que conducen iones. El cátodo fluido puede comprender compuestos de Li tales como: LiCoO₂, LiFePO₄ y LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O₄, y el ánodo fluido puede comprender compuestos tales como Li₄Ti₅O₁₂, grafito y Si. El electrolito también puede comprender negro de Ketjen como una fase conductora dispersa. La energía se almacena en las suspensiones del cátodo y el ánodo fluidos y la transferencia de carga a los colectores de corriente se realiza a través de redes de percolación de conductores a nanoescala (por ejemplo, negro de Ketjen).

Simone Monaco et al. (J. Phys. Chem. Lett., 2013, 4, 1379-1382) encontró que la respuesta de los electrodos de oxígeno en líquidos iónicos a altas corrientes de descarga está dominada por el transporte de masa de oxígeno en líquidos iónicos. Para resolver este problema Simone Monaco et al. propuso burbujear oxígeno en el electrolito (N-butil-N-metil pirrolidinio bis(trifluorometanosulfonil)imida (PYR₁₄TFSI): LiTFSI 9:1) que circuló continuamente a través del compartimiento del cátodo. Una celda de flujo cargada con electrolito líquido iónico saturado de oxígeno tiene una capacidad de descarga de hasta 600 mAh g⁻¹ bajo corrientes de descarga de 0.2 mA cm⁻², con una eficiencia de recarga del 92%.

Yun Guang Zhu et al. (Chem. Commun., 2015, 51, 9451-9454) informa sobre una batería de oxígeno y litio de flujo con catalizadores RÉDOX solubles que comprenden un ánodo de metal de litio separado de un cátodo de filtro de carbono por una membrana; y un tanque de difusión de gas conectado al compartimiento catódico mediante una

bomba. El electrolito (tal como bis(trifluorometano)sulfonimida de litio en tetraetilenglicol dimetiléter) con catalizadores RÉDOX solubles se hace circular entre el tanque de difusión de gas y la celda. Durante el proceso de descarga, el oxígeno fluye al tanque de difusión de gas y se reduce para formar Li_2O_2 . Luego se deposita sobre la matriz porosa del tanque.

5 El tanque de difusión de gas ayuda de esta forma a prevenir la pasivación y la obstrucción de los poros del cátodo. Los autores del artículo postulan que la capacidad de la celda estaría limitada por el tamaño del tanque de difusión de gas.

10 Volker Presser et al. (Adv. Energy Mater., 2012, 2, 895-902) informa sobre un capacitor de flujo electroquímico que funciona al almacenar energía en una doble capa eléctrica de partículas de carbono cargadas. Se emplea una mezcla de electrolito de carbono semisólida fluida como material activo para el almacenamiento de energía de capacitancia. Cuando esta mezcla de electrolitos se bombea entre dos colectores de corriente polarizados, se forma una doble capa eléctrica sobre la superficie de las partículas de carbono. Las partículas sólidas cargadas positivamente en la
15 suspensión atraen iones cargados negativamente para equilibrar la carga, y las partículas sólidas cargadas negativamente atraen iones cargados positivamente. Luego se produce la difusión de iones de un electrodo de suspensión a otro a través de una membrana que actúa como aislante eléctrico. La suspensión cargada luego se puede almacenar en depósitos hasta que se necesite la energía almacenada.

20 Los documentos JP 2014 022281 A y DE 10 2010 033020 A1 describen sistemas de baterías de litio/oxígeno que comprenden un ánodo de litio, un cátodo carbonoso poroso y un electrolito enriquecido con oxígeno no acuoso.

25 El documento WO 2014/014548 A2 divulga una batería de flujo de metal/aire que incluye una unidad de reacción electroquímica y una unidad de intercambio de oxígeno, en la que la unidad de reacción electroquímica, incluye un ánodo, un cátodo y una membrana conductora iónica entre estos, un electrolito de ánodo, y un electrolito de cátodo, y por lo menos se proporciona una bomba para bombear el electrolito de cátodo entre la unidad de reacción electroquímica y la unidad de intercambio de oxígeno.

30 A pesar de los avances en las baterías de litio en los últimos años, todavía subsiste la necesidad de producir baterías de litio con altas capacidades de descarga, que sean económicas y eficientes en espacio. Dichas baterías se pueden utilizar en vehículos eléctricos y en plantas de energía renovable.

Resumen de la Invención

35 La presente divulgación proporciona una batería de oxígeno y litio que comprende un catolito semisólido que comprende un electrolito, oxígeno disuelto y partículas carbonáceas. La batería de oxígeno y litio también puede comprender un ánodo de litio.

40 Preferiblemente, el electrolito es no acuoso. Preferiblemente el catolito es fluido. Preferiblemente, el catolito está saturado de oxígeno.

Preferiblemente, las partículas carbonáceas son insolubles en el catolito. Preferiblemente, las partículas carbonáceas están compuestas de negro de carbón conductor.

45 La batería de oxígeno y litio de la presente divulgación puede comprender adicionalmente dos contactos eléctricos, un separador y un colector de corriente de cátodo poroso. Preferiblemente, el colector de corriente del cátodo poroso está hecho de un material seleccionado de papel carbón, carbón vítreo reticulado, carbón vítreo reticulado recubierto con negro de carbón conductor, carbonos mesoporosos, carbonos activados, carbonos nanoestructurados y combinaciones de los mismos.

50 La presente divulgación también proporciona un catolito semisólido que comprende un electrolito, preferiblemente no acuoso, oxígeno disuelto y partículas carbonáceas. Preferiblemente, el catolito está saturado de oxígeno. Preferiblemente, las partículas carbonáceas son insolubles en el catolito. Preferiblemente, las partículas carbonáceas están compuestas por carbono, preferiblemente negro de carbón conductor.

55 Otro aspecto de la presente divulgación es el uso de la batería de oxígeno y litio o el catolito de la presente divulgación en un vehículo eléctrico.

60 Un aspecto adicional de la presente divulgación es el uso de la batería de oxígeno y litio de la presente divulgación en plantas estacionarias. La planta estacionaria se puede seleccionar del grupo que comprende plantas de energía renovable.

También se proporciona un vehículo eléctrico que comprende la batería de oxígeno y litio o el catolito de la presente
65 divulgación.

También se proporciona una planta estacionaria que comprende la batería de oxígeno y litio o el catolito de la presente divulgación.

Las referencias descritas en la sección de "antecedentes" se diferencian de la batería de oxígeno y litio de la presente divulgación de varias formas. Por ejemplo, la batería de flujo descrita en la publicación de Mihai Duduta et al. no es una batería de flujo de oxígeno y litio y no está relacionada con la reacción RÉDOX del oxígeno y la formación de productos de descarga que pasivan al colector de corriente y reducen la capacidad de descarga del cátodo. Adicionalmente, las partículas de negro de Ketjen presentes en el electrolito ayudan a la transferencia de electrones de las partículas de material activo a los colectores de corriente, sin embargo, no proporcionan un sitio en el que pueda tener lugar una reacción RÉDOX de oxígeno. La publicación de Volker Presser et al. se relaciona con un capacitor y no a una batería o una batería de flujo de oxígeno y litio. Las partículas de carbono empleadas en el electrolito no proporcionan un sitio para que tenga lugar una reacción RÉDOX de oxígeno, pero se utilizan en la formación de una doble capa eléctrica. El trabajo de Yun Guang Zhu et al. está en una batería de oxígeno y litio de flujo en la que los catalizadores RÉDOX se solubilizan en el catolito. El catolito no es semisólido.

Si bien se divulgan múltiples realizaciones, aún otras realizaciones serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada. Como será evidente, ciertas realizaciones, como se divulga aquí, son capaces de modificaciones en varios aspectos obvios, todos sin apartarse de la invención. De acuerdo con lo anterior, los dibujos y la descripción detallada deben considerarse de naturaleza ilustrativa y no restrictiva.

Breve Descripción de los Dibujos

Las siguientes figuras ilustran realizaciones preferidas de la materia objeto divulgada en el presente documento. La materia objeto reivindicada se puede entender mediante referencia a la siguiente descripción tomada junto con las figuras adjuntas en las que:

La Figura 1 muestra una representación esquemática de una realización de la presente divulgación que es una batería de oxígeno y litio con un catolito fluido no acuoso, semisólido.

La Figura 2 muestra una representación esquemática de una realización de la presente divulgación que muestra la celda de la batería de oxígeno y litio junto con los contactos eléctricos de la Figura 1.

La Figura 3A muestra la comparación de los potenciales de los colectores de corriente CP (0.45 cm^2) y RVCSP (0.6 cm^2 , 3 mg cm^{-2} de SP) durante descargas galvanostáticas a 0.25 mA/cm^2 en el catolito saturado de O_2 agitado. Las curvas marcadas RVCSP y CP muestran los potenciales de descarga de los colectores de corriente RVCSP y CP, respectivamente, cuando las partículas de SP (0.1 g) se dispersan en el electrolito. W representa el potencial de descarga del colector de corriente CP en el electrolito TEGDME-LiTFSI saturado con O_2 agitado sin partículas de SP dispersas. y = potencial de cátodo (V vs. Li^+/Li); x = tiempo (horas).

La Figura 3B muestra el colector de corriente (A) CP (0.45 cm^2) y la respuesta del electrodo de litio (B) en catolito con partículas SP (0.1 g), durante la descarga a largo plazo en una celda electroquímica convencional con catolito agitado saturado de O_2 (aproximadamente 5 ml). y = potencial electroquímico (V vs. Li^+/Li); x^1 = tiempo (horas); x^2 = capacidad (mAhcm^{-2}). a) = tiempo de descarga del colector de corriente CP en electrolito sin SP; b) reemplazo del electrodo contador de litio por uno nuevo después de 11 días; c) sustitución del colector de corriente CP por uno nuevo después de 19 días; d) = 29 días.

La Figura 4A muestra los patrones de XRD del colector de corriente CP antes y después de la descarga del día 19 a 0.25 mA/cm^2 en una celda electroquímica convencional con catolito agitado saturado de O_2 . Los patrones de CP, Li_2O_2 y LiOH se resaltan con #, * y °, respectivamente. y = intensidad (a.u.), $x = 2\theta$ (grados); a = CP fresco; b = CP después de descarga en el día 19.

La Figura 4B muestra la comparación de las gráficas de Nyquist del colector de corriente CP después de la descarga en el día 19 a 0.25 mA/cm^2 en una celda electroquímica convencional con catolito agitado saturado de O_2 , y de un colector de corriente CP nuevo en el mismo catolito utilizado para la descarga en el día 19. El recuadro informa sobre el diagrama de Nyquist para un electrodo RVCSP nuevo en una celda agitada convencional. (1 kHz - 100 mHz). $y = -Z_{\text{im}}$ (Ohm cm^2); $y = Z_{\text{r}}$ (Ohm cm^2); a) = CP fresco; b) = CP después de la descarga en el día 19; c) = RVCSP fresco.

La Figura 5A muestra imágenes TEM del catolito antes (a, b) y después (c, d) de descarga 700 h a 0.25 mA/cm^2 en una celda electroquímica agitada convencional.

La Figura 5B XRD muestra los espectros del catolito antes de (a) y después de (b) de descarga 700 h a 0.25 mA/cm^2 en una celda electroquímica agitada convencional. El patrón de SP se resalta con #. y = intensidad (a.u.), $x = 2\theta$ (grados).

La Figura 6 muestra los espectros FTIR del catolito antes de (a) y después de (b) de descarga 700 h a 0.25 mA/cm^2 en una celda electroquímica agitada convencional. y = absorbancia; x = número de ondas (cm^{-1}).

La Figura 7 muestra imágenes SEM del colector actual RVCSP, antes del uso (a-b).

5 La Figura 8A muestra el voltaje de la celda y los potenciales de electrodo y la densidad de corriente de una celda de flujo semisólido durante pasos de descarga de 1 hora desde 0.05 mAcm^{-2} hasta 4 mAcm^{-2} ; a) = $V_{\text{cátodo}}$ (RVCSP); b) = V_{celda} ; c) = mA cm^{-2} ; d) = $V_{\text{ánodo}}$; y^1 = voltaje de la celda o potencial de electrodo (V); y^2 = densidad de corriente (mAcm^{-2}); x = Tiempo (horas).

10 La Figura 8B muestra el voltaje de la celda y los potenciales de electrodo y la densidad de corriente de una celda de flujo semisólido durante los pasos de recarga de 1 hora desde 0.9 mAcm^{-2} a 0.05 mAcm^{-2} ; a) = $V_{\text{cátodo}}$ (RVCSP); b) = V_{celda} ; c) = mAcm^{-2} ; d) = $V_{\text{ánodo}}$; y^1 = voltaje de la celda o potencial electrodo (V); y^2 = densidad de corriente (mAcm^{-2}); x = Tiempo (horas).

15 La Figura 9A muestra el voltaje de la celda y los potenciales de electrodo y la densidad de corriente de una celda de flujo semisólido durante los pasos de recarga de 1 hora y recarga desde 0.05 mAcm^{-2} hasta 4 mAcm^{-2} ; a) = $V_{\text{cátodo}}$ (RVCSP); b) = V_{celda} ; c) = mA cm^{-2} ; d) = $V_{\text{ánodo}}$; y^1 = voltaje de la celda o potencial electrodo (V); y^2 = densidad de corriente (mAcm^{-2}); x = Tiempo (horas).

20 La Figura 9B muestra las curvas de polarización de descarga de celdas y cátodos de una celda de flujo semisólido; a) = $V_{\text{cátodo}}$; b) = V_{celda} ; c) = $P_{\text{cátodo}}$; d) = P_{cell} ; y^1 = V_{celda} o $V_{\text{cátodo}}$ (V); y^2 = densidad de potencia (mWcm^{-2}); x = Densidad de corriente (mAcm^{-2}).

25 La Figura 10 muestra la Comparación de las gráficas de Nyquist de la celda de Li/O₂ de flujo semisólido (a) antes y después de los pasos repetidos de descarga y recarga de 1 h a diferentes densidades de corriente desde 0.05 mA cm^{-2} hasta 4 mA cm^{-2} (modo de 2 electrodos, 10 kHz-100 mHz). El recuadro informa sobre el ánodo de litio (b) y el colector de corriente RVCSP (c) Gráficos de Nyquist registrados en el modo de 3 electrodos p) = inicial; y q) = después del ciclado. $y = -Z_{\text{im}}$ (Ohm cm^2); $y = Z_{\text{re}}$ (Ohm cm^2);

30 Descripción detallada

Como se describe en el presente documento, el término “batería de oxígeno y litio” significa una batería que utiliza la oxidación de litio en el ánodo y la reducción de oxígeno en el cátodo para inducir un flujo de corriente. Una batería de oxígeno y litio también se puede denominar como “batería de aire de litio”.

35 Como se describe en el presente documento, el término “catolito semisólido” o “catolito fluido semisólido” se relaciona con un electrolito líquido que tiene partículas sólidas insolubles dispersas en el mismo.

40 Como se describe en el presente documento, el término “carbón vítreo reticulado” (RVC) significa una espuma de carbono vítreo, que no es grafitica.

45 Como se describe en el presente documento, el término “SP” se refiere a carbono SuperP que es negro de carbono conductor.

Como se describe en el presente documento, el término “red de percolación” se refiere a las partículas sólidas en el catolito que son capaces de conducir electrones.

50 Como se describe en el presente documento, el término “reacción RÉDOX de oxígeno” se refiere a una reacción química que implica la reducción y oxidación del oxígeno, es decir, la ganancia y pérdida de electrones, respectivamente.

55 Como se describe en el presente documento, el término “partículas carbonáceas” se refiere a partículas que comprenden carbono.

60 Un aspecto de la presente divulgación es una batería de oxígeno y litio. La batería de oxígeno y litio comprende una celda a través de la cual fluye un catolito semisólido. La batería puede comprender un medio para hacer circular el catolito en la batería, tal como una bomba, una entrada de oxígeno o aire y dos contactos eléctricos. En una realización preferida, un contacto eléctrico está conectado al terminal positivo de la batería y el otro contacto eléctrico está conectado al terminal negativo de la batería. En una realización, la celda de la batería de oxígeno y litio comprende un ánodo de litio, un separador y un colector de corriente de cátodo poroso, a través del cual fluye el catolito. El catolito puede dirigirse hacia la celda utilizando cualquier medio adecuado, preferiblemente al utilizar una bomba.

65 Una realización preferida de la batería 1 de oxígeno y litio de la presente divulgación se ilustra en la Figura 1. La realización preferida comprende una celda 2 a través de la cual fluye un catolito 3 semisólido. La batería puede comprender un medio para hacer circular el catolito en la batería, tal como una bomba 4, una entrada 5 de oxígeno o aire y dos contactos 6 eléctricos.

En una realización preferida, la celda 2 comprende un ánodo 7 de litio, un separador 8 y un colector 9 de corriente de cátodo poroso a través del cual fluye el catolito. El catolito 3 semisólido se puede dirigir hacia la celda 2 utilizando cualquier medio adecuado, preferiblemente al utilizar una bomba 4.

5 En una realización preferida, el colector de corriente de cátodo poroso está compuesto de carbono poroso. El colector de corriente del cátodo poroso está recubierto preferiblemente con partículas de carbono, preferiblemente carbono SP.

10 Preferiblemente, el colector de corriente del cátodo poroso está hecho de un material seleccionado de papel carbón, carbón vítreo reticulado, carbón vítreo reticulado recubierto con negro de carbón conductor, carbonos mesoporosos, carbonos activados, carbonos nanoestructurados y combinaciones de los mismos.

15 En particular, el colector de corriente del cátodo poroso puede estar compuesto por carbono vítreo reticulado (RVC), preferiblemente recubierto con carbono SP (RVCSP) (Figuras 1 y 2).

El ánodo está conectado al terminal negativo de la batería y está compuesto esencialmente de metal litio.

20 El ánodo de litio es preferiblemente una lámina de metal de litio. Preferiblemente, el ánodo de metal litio comprende metal litio en una pureza de entre 99% y 99.9%. El ánodo de litio se puede recubrir con una capa protectora que cumple con una función clave de barrera para evitar el cruce de O₂ desde el cátodo hasta el ánodo y mejora las propiedades interfaciales del ánodo/electrolito. El recubrimiento puede comprender cerámicas, membranas de polímeros y mezclas de las mismas.

25 El separador puede comprender un material seleccionado del grupo que comprende membranas de fibra de vidrio, cerámica y polímero.

El catolito de la presente invención comprende un electrolito no acuoso, partículas carbonáceas y oxígeno disuelto. Preferiblemente, las partículas carbonáceas forman una suspensión en el electrolito.

30 El electrolito se puede seleccionar del grupo que comprende TEGDME/LiTFSI, líquidos iónicos y dimetilsulfóxido/LiTFSI.

35 Las partículas carbonáceas comprenden preferiblemente un material carbonoso y pueden fluir en el catolito. Preferiblemente las partículas carbonáceas son porosas. Preferiblemente, las partículas carbonáceas tienen una porosidad de $\geq 0.5 \text{ cm}^3/\text{g}$. En una realización preferida, las partículas carbonáceas tienen un área superficial de entre $50 \text{ m}^2/\text{g}$ y $2000 \text{ m}^2/\text{g}$, preferiblemente de entre $700 \text{ m}^2/\text{g}$ y $1000 \text{ m}^2/\text{g}$.

40 Preferiblemente, las partículas carbonáceas están compuestas por uno o más materiales seleccionados de carbono, carbono SuperP, negros de carbón, carbonos mesoporosos, carbonos activados, carbonos nanoestructurados (grafeno, nanotubos, etc.) y mezclas de los mismos.

Las partículas carbonáceas pueden estar presentes en el catolito en un porcentaje en peso con respecto al electrolito de entre 1 y 50% p/p, preferiblemente entre 2 y 20% p/p.

45 El catolito está enriquecido con oxígeno que se puede introducir en la batería de oxígeno y litio a través de por lo menos una entrada de oxígeno. Preferiblemente, el oxígeno se disuelve continuamente en el electrolito. Preferiblemente, el oxígeno se introduce en el catolito de tal manera que el flujo del catolito primero intercepta la entrada de oxígeno antes de entrar en la celda. En una realización, el catolito puede contener entre 1×10^{-3} y $20 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ de oxígeno disuelto. Preferiblemente, el catolito está saturado de oxígeno.

50 El uso de oxígeno como una especie RÉDOX en la batería de flujo de oxígeno y litio evita los problemas de solubilidad que limitan el funcionamiento de la batería de flujo RÉDOX convencional.

55 En una realización preferida, cuando la batería de oxígeno y litio está en uso, el catolito circula continuamente en la batería de oxígeno y litio en un circuito cerrado. Como no se requieren contenedores externos adicionales para alojar el catolito cuando la batería está en uso, la batería es eficiente en espacio.

60 El catolito en la batería de oxígeno y litio de la presente divulgación se hace circular, por ejemplo, a un índice de flujo de entre 100 y 250 ml/min, preferiblemente de entre 150 y 200 ml/min. La velocidad de bombeo puede ser, por ejemplo, entre 100 y 300 rpm, preferiblemente entre 170 y 230 rpm. El índice de flujo puede variar en relación con la corriente de descarga, el electrodo y el tamaño del núcleo de la celda.

65 El catolito se puede hacer circular continuamente o hacer circular a intervalos. Preferiblemente, el catolito se hace circular continuamente.

ES 2 742 874 T3

La batería de oxígeno y litio de la presente divulgación tiene preferiblemente una capacidad de descarga (>500 mAh/g de peso total de catolito) de >100 mAh cm², preferiblemente de >170 mAh cm².

5 La batería de oxígeno y litio de la presente divulgación se puede descargar preferiblemente a densidades de corriente de entre 0.05 mA cm⁻² y 4 mA cm⁻², preferiblemente de >2 mA cm⁻².

La batería de oxígeno y litio de la presente divulgación tiene preferiblemente un nivel de potencia de entre 5 y 25 mWcm⁻², preferiblemente de entre 10 y 25 mWcm⁻², más preferiblemente de entre 20 y 25 mWcm⁻².

10 La batería de oxígeno y litio de la presente divulgación puede operar a altos voltajes de 2.5-3.0V.

La batería de oxígeno y litio de la presente divulgación tiene una densidad de energía a nivel del sistema proyectada de >500 Wh/L, >500 Wh/kg, que es de 5 a 10 veces más alta que las baterías de iones de litio convencionales, lo que se considera se debe al bajo volumen e impacto del peso de los materiales inactivos.

15 Junto con las propiedades mencionadas anteriormente, la batería de oxígeno y litio de la presente divulgación es rentable y fácil de fabricar con un costo de capacidad instalada de <200 €/kWh, que es inferior al de las baterías de ion de litio comercializadas debido a la reducción o ausencia de materiales preciosos.

20 Sin querer vincularse a ninguna teoría particular, se piensa que la razón de la alta capacidad de descarga de la batería de oxígeno y litio de la presente divulgación se debe a la red de percolación de las partículas de catolito de carbono, que son altamente conductoras y aseguran una transferencia eficiente de electrones al colector de corriente del cátodo poroso. Adicionalmente, a medida que se produce la reacción RÉDOX del oxígeno en las partículas carbonáceas fluidas, las especies pasivantes como los óxidos de litio se retiran lejos del colector de corriente del cátodo poroso.

25 Otro factor que se considera que contribuye a las altas capacidades de descarga de la batería de la presente invención es la aparición de la reacción RÉDOX de oxígeno en las partículas carbonáceas. Esto evita la acumulación de especies de óxido de litio tal como el peróxido de litio y el superóxido de litio, que se produce en los cátodos fijos, lo que reduce su capacidad de descarga.

30 La batería de oxígeno y litio de la presente invención se puede emplear en cualquier aplicación que requiera el uso de una batería. Las baterías de oxígeno/aire de litio de la presente divulgación también se pueden utilizar para impulsar vehículos, específicamente vehículos eléctricos, y en el almacenamiento/conversión de energía de estacionarios, como en plantas de energía renovable. Los vehículos eléctricos pueden incluir automóviles, motocicletas, camiones, 35 escúteres y bicicletas.

Un aspecto adicional de la presente divulgación es un catolito semisólido. El catolito semisólido comprende preferiblemente partículas carbonáceas sólidas y un electrolito. Preferiblemente, el catolito semisólido también comprende oxígeno disuelto. Preferiblemente, las partículas carbonáceas no son solubles en el electrolito. 40 Preferiblemente, las partículas carbonáceas forman una suspensión en el electrolito.

El electrolito se puede seleccionar del grupo que comprende TEGDME/LiTFSI, líquidos iónicos y dimetilsulfóxido/LiTFSI.

45 Las partículas carbonáceas comprenden preferiblemente un material carbonoso y pueden fluir en el catolito. Preferiblemente, las partículas carbonáceas son porosas, en particular están hechas de carbono poroso, con una porosidad de ≥0.5 cm³/g.

50 En una realización preferida, las partículas carbonáceas tienen un área superficial de entre 50 m²/g y 2000 m²/g, preferiblemente de entre 700 m²/g y 1000 m²/g. Preferiblemente, las partículas carbonáceas están compuestas por uno o más materiales seleccionados de carbono, carbono SuperP, negros de humo, carbonos mesoporosos, carbonos activados, carbonos nanoestructurados (grafeno, nanotubos, etc.) y mezclas de los mismos.

55 Las partículas carbonáceas pueden estar presentes en el catolito en un porcentaje en peso de entre 1 y 50% p/p, preferiblemente entre 2 y 20% p/p.

El catolito puede contener entre 1×10⁻³ y 20×10⁻³ mol/L de oxígeno disuelto. Preferiblemente, el catolito está saturado de oxígeno.

60 La presente divulgación también se relaciona con una planta estacionaria que comprende la batería de oxígeno y litio divulgada en el presente documento.

La presente divulgación también se relaciona con una planta estacionaria que comprende el catolito no acuoso semisólido descrito en el presente documento.

65 La planta estacionaria se puede seleccionar del grupo de plantas de energía renovable.

La presente divulgación también se relaciona con un vehículo eléctrico que comprende la batería de oxígeno y litio divulgada en el presente documento.

- 5 La presente divulgación también se relaciona con un vehículo eléctrico que comprende el catolito no acuoso semisólido descrito aquí.

El vehículo eléctrico se puede seleccionar del grupo que comprende automóviles, motocicletas, camiones, escúteres y bicicletas.

10

EJEMPLOS

Materiales utilizados:

- 15 El electrolito utilizado es una solución de tetraetilenglicol dimetil éter (Sigma-Aldrich, TEGDME, $\geq 99.0\%$): sal de bis(trifluorometano)sulfonimida de litio (Sigma-Aldrich, LiTFSI, $\geq 99.0\%$) relación molar de 9:1, la cual fue preparada y almacenada en una caja de guantes (MBraun, atmósfera de Ar, H₂O y O₂ < 1 ppm). Antes de uso, el contenido de agua de la solución se verifica mediante titulación Karl-Fishser (756/831 KF Coulometer-Metrohm) y se encuentra que es de 160 ppm.

20

El catolito se prepara en una caja de guantes al agregar Super-P (SP, 2% p/p, Erachem Comilog N.V., BET 65.5 m²/g) al electrolito. Antes de la adición al electrolito, se seca el Super-P al vacío a 120°C durante la noche (evaporación rotatoria).

- 25 Los colectores de corriente de cátodo poroso que se utilizan son Papel Carbón (CP, Spectracarb 2050, Spectracorp, grosor 40 milésimas, densidad 0.64 g/cc) y Carbono Vítreo Reticulado (RVC, ERG Aerospace Corporation, espuma, 3% de densidad nominal, 100 PPI) que se secan durante la noche al vacío a 120°C antes de uso. El colector de corriente de cátodo poroso RVC se recubre con polvo de carbón SP mediante la aplicación en gotas de un 95% de SP-5% de fluoruro de polivinilideno (PVdF, Kynar HSV900) en tintas de N-metilpirrolidona (28 mg de SP por mL), seguido de calentamiento a 60°C toda la noche. La etiqueta RVCSP indica el electrodo RVC recubierto con SP.

30

El ánodo está compuesto de lámina de litio (> 99%).

Métodos de Medición:

35

Se investiga la reacción RÉDOX de oxígeno mediante mediciones galvanostáticas en una celda de 5 mL convencional, termostalizada, en electrodos CP (A = 0.45 cm²) y RVCSP (A = 0.6 cm²) y en una celda de semiflujo con RVCSP (0.385 cm² de área geométrica RVCSP, 30 ml de catolito). El electrodo de referencia es un cable plateado en 6.10⁻² M AgTFSI en PYR₁₄TFSI; los potenciales de los electrodos se verifican frente a Li y se informan frente a la pareja Li⁺/Li.

40

Las pruebas electroquímicas se realizan con un potenciostato/galvanostato multicanal PerkinElmer VSP con módulo de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). La EIS se realiza en el rango de frecuencia de 1 kHz-100 mHz con una perturbación de 5 mV CA y al tomar 10 puntos/década. El electrolito y el catolito se saturan con O₂ (g) (>99.999%, SIAD). La circulación del catolito a través de la celda de semi-flujo se logró mediante una bomba peristáltica Watson-Marlow 1205/DV que funciona a 200 rpm. La batería de flujo de Li/O₂ se ensambla en una caja seca. Se utiliza una celda de teflón en forma cruzada (BOLA) con 2 separadores de fibra de vidrio (Whatman GF/F) y 4 discos de litio apilados (> 99%, 3.8.10⁻² g).

45

- 50 Las mediciones de difracción de rayos X (XRD) se realizan con el difractómetro de polvo PANalytical X'Pert PRO equipado con un detector X'Celerator (radiación CuK α , $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$, 40 mA, 40 kV), fuente de radiación y filtro de Ni por modo de exploración continua (Velocidad de escaneo de 0.04 °2 θ s⁻¹, tamaño de paso de 0.05 °2 θ).

55

Los análisis FTIR se llevan a cabo con un aparato Bruker Optics Tensor 27 (resolución de 2 cm⁻¹).

60

Se obtienen imágenes TEM y SEM al utilizar un Philips CM100 (voltaje de aceleración de 80 kV) y un Zeiss EVO 50, respectivamente.

Ejemplo 1. Estudio Preliminar

60

Se realiza un experimento en una celda electroquímica convencional de 5 ml utilizando electrolito (TEGDME: LiTFSI 9:1 mol, concentración de LiTFSI ca. 0.5 mol/L) o catolito (TEGDME: LiTFSI 9:1 mol, 2% en peso de SP). El electrolito o catolito se cargan continuamente con oxígeno y se agitan mecánicamente para simular las condiciones operativas del cátodo de flujo. Los colectores de corriente de cátodo poroso utilizados son CP o RVCSP. Se utilizan un contraelectrodo de litio (separado por el compartimiento del cátodo a través de una fritta porosa) y un electrodo de referencia con base en Ag.

65

El contraelectrodo de litio es una lámina de litio (aproximadamente $1 \times 5 \text{ cm}^2$) que se enrolla alrededor de una barra de vidrio y presenta un área 10 veces mayor que la del electrodo de trabajo. Dicho método se utiliza para los estudios básicos con el propósito de no limitar el funcionamiento del electrodo de trabajo.

Los resultados informados en la Figura 3 muestran que bajo descarga galvanostática a 0.25 mA/cm^2 cuando se utiliza el catolito que contiene SP (Super-P) en la celda, el potencial de descarga de CP aumenta en 300 mV, en comparación con el electrolito sin SP (Figura 3A). Adicionalmente, al recubrir el colector de corriente RVC con SP, y aumentar así su área de superficie específica, el potencial del electrodo aumenta hasta 2.85 en comparación con Li^+/Li a 0.25 mA/cm^2 .

También se mide la respuesta de litio y CP durante la descarga a largo plazo. La Figura 3B muestra que la sustitución del electrolito convencional con el catolito semisólido aumenta dramáticamente la capacidad de descarga del cátodo de Li/O_2 . Cuando se agrega SP al electrolito, el tiempo de descarga aumenta de 4 horas a 11 días. La descarga está limitada por el consumo de litio, como lo demuestra el rápido aumento del potencial de litio después de 250 h. Reemplazar el contraelectrodo de litio con uno nuevo permite extender la descarga durante 19 días y alcanzar una capacidad de descarga de 110 mAh/cm^2 lo que corresponde a 500 mAh/g de SP total dispersado en el catolito (0.1 g) y a una densidad de energía práctica de 300 mWh/cm^2 .

Después de 19 días, se encuentra que el colector de corriente CP forma una capa de pasivación que está compuesta principalmente por Li_2O_2 , aunque también están presentes trazas de LiOH . Esta capa se detecta mediante análisis de XRD (Figura 4A) y provoca un aumento en la impedancia del electrodo (Figura 4B). El catolito no se afecta por la descarga prolongada. De hecho, la sustitución del colector de corriente CP por uno nuevo permite realizar la reducción de O_2 en el mismo catolito durante 10 días adicionales (700 h de tiempo de descarga total) y lograr una capacidad de descarga de 175 mAh/cm^2 . Sobre la base del área de CP (0.45 cm^2) y el contenido de SP (aproximadamente 0.1 g) en el catolito (aproximadamente 5 ml) la capacidad específica es ca 800 mAh/g de SP total. Dado que el potencial promedio del cátodo es 2.7 V vs. Li^+/Li , la densidad de energía alcanza 500 mWh/cm^2 .

Después de los 11 días adicionales, el catolito se caracteriza por TEM (Figura 5A), XRD (Figura 5B) y FTIR (Figura 6). Las imágenes de TEM indican que se forma una capa de pasivación delgada ($<50 \text{ nm}$) sobre la superficie SP, lo que demuestra que ORR se está produciendo en las partículas de catolito que fluyen. Los análisis por XRD no revelan Li_2O_2 cristalino en el catolito, debido presumiblemente a que estas partículas están muy dispersas en el componente carbonoso del catolito. El espectro de FTIR del catolito recolectado después de 700 h de descarga es similar al del catolito antes de la descarga, con un pequeño aumento de la intensidad de la banda de absorción a 3500 cm^{-1} y 1600 cm^{-1} . Dichas señales se pueden relacionar con fracciones alcohólicas que se originan a partir de la descomposición del electrolito y/o con la humedad que ingresa a la celda después de una operación prolongada (Figura 6).

Ejemplo 2. Batería de Oxígeno y litio

Un colector de corriente RVC macroporoso se recubre con SP (imagen SEM, Figura 7) (0.385 cm^2 , 7 mg cm^{-2} de SP). El colector de corriente RVCSP se utiliza para ensamblar la celda de Li/O_2 semisólida de flujo que se esquematiza en las Figuras 1 y 2. El núcleo de la celda constituye un ánodo de metal de litio y un colector de corriente RVCSP separado por una membrana de fibra de vidrio. El catolito se bombea a través de la celda mediante una bomba peristáltica mientras se enriquece continuamente con O_2 (g). Para estudios básicos, se utiliza un electrodo de referencia adicional que intercepta el flujo de catolito (no mencionado en las Figuras 1 y 2).

Se llevan a cabo pruebas de polarización en el prototipo que consiste en la repetición de pasos de descarga de 1 hora a diferentes densidades de corriente desde 0.05 mA cm^2 hasta 4 mA cm^2 . La secuencia se detiene cuando el potencial del cátodo es inferior a 2 V vs. Li^+/Li o el potencial del ánodo es superior a 1 V vs. Li^+/Li . La velocidad de bombeo es de 200 rpm, lo que corresponde a un flujo de catolito de aproximadamente 170 ml/min. La Figura 8A muestra los potenciales del electrodo y las tendencias de voltaje de la celda durante los pasos consecutivos. Notablemente, el cátodo muestra un alto potencial ($V_{\text{cátodo}}$) de 2.90 V vs Li^+/Li a 0.05 mA/cm^2 , que disminuye solo un 10% cuando la corriente se incrementa hasta 3 mA/cm^2 . A 0.05 mA/cm^2 , el voltaje de la celda (V_{celda}) es de 2.9 V. La capacidad de descarga total calculada por la integración de la corriente en el tiempo de los diferentes pasos es de 50 mAh/cm^2 . La Figura 8A muestra que el rendimiento de la celda en los tiempos más largos y las corrientes más altas se ve afectado por el ánodo de litio. El sobrepotencial de litio alcanza 1V después de 40 h de descarga y corrientes $> 2.5 \text{ mA/cm}^2$ debido al agotamiento del litio.

Para evitar el agotamiento del litio, se estudia la capacidad de recarga de la celda de flujo después de la secuencia de descarga previa mediante pasos consecutivos de recarga de 1 hora a corrientes bajas, desde 0.9 mA/cm^2 a 0.05 mA/cm^2 (Figura 8B). Los voltajes de las celdas de recarga disminuyen cuando la densidad de corriente se reduce y oscila entre 3.85 V y 3.05 V, lo que corresponde a potenciales de cátodo de 3.30 V vs Li^+/Li y 2.90 V vs Li^+/Li . Esto conduce a una sobretensión de recarga celular excepcionalmente baja de 150 mV a 0.05 mA cm^{-2} , que aumenta hasta 950 mV a 0.9 mA cm^{-2} . En la corriente más alta, $V_{\text{cátodo}}$ es 3.3 V vs Li^+/Li , lo que corresponde a un sobrepotencial de recarga de cátodo bajo de 400 mV. La sobretensión de la celda y el sobrepotencial del electrodo se calculan como la

diferencia entre el voltaje de la celda o el potencial del electrodo durante la recarga y el voltaje de la celda o el potencial del electrodo exhibido en condiciones de circuito abierto.

5 La capacidad de recarga de la celda se investiga adicionalmente mediante la repetición de pasos de descarga y recarga de 1 hora a diferentes densidades de corriente que varían desde 0.05 mA cm^{-2} a 4 mA cm^{-2} . La descarga se limita al establecer un corte de potencial de cátodo de $2 \text{ V vs Li}^+/\text{Li}$ y la carga se limita por un corte de potencial de cátodo de $3.7 \text{ V vs Li}^+/\text{Li}$. El corte de recarga se ajusta para evitar la degradación oxidativa del electrolito. Los resultados se presentan en la Figura 9A. Se encuentra que la reducción de los pasos y la recarga periódica de la celda ayudan a sortear los fenómenos de agotamiento de litio.

10 Utilizando este método, es factible lograr hasta 4 mAcm^{-2} . La Figura 9B muestra las curvas de polarización de descarga del prototipo en términos de V_{celda} y densidad de potencia celular ($P_{\text{celda}} = i \times V_{\text{celda}}$) y de $V_{\text{cátodo}}$ y densidad de potencia del cátodo ($P_{\text{cátodo}} = i \times V_{\text{cátodo}}$). Se observan niveles de potencia de 25 mW cm^{-2} que corresponden a una potencia específica de aproximadamente 3 kW kg^{-1} de SP depositados en el colector de corriente RVC que presenta un área geométrica de 0.385 cm^2 y una carga de SP de 7 mg cm^{-2} . Dado que se utilizan 30 ml de catolito, la potencia normalizada con respecto al contenido total de SP (0.6 g) es de 16 W kg^{-1} .

15 El voltaje de descarga de la celda se conforma por las pérdidas potenciales de cátodo y ánodo. El potencial del cátodo no cambia significativamente hasta 3 mA/cm^2 . Para corrientes más altas, la limitación de la difusión causa una caída del potencial del 20% en el cátodo y $P_{\text{cátodo}}$ alcanza un valor máximo. Adicionalmente, la descarga del ánodo de litio sobre el potencial es notable incluso a corrientes bajas y contribuye principalmente a la caída de voltaje de la celda, incluso para corrientes inferiores a 3 mA/cm^2 .

25 Los diagramas de Nyquist mostradas en la Figura 10 demuestran que el ánodo de litio es el electrodo que contribuye principalmente a la impedancia total de la celda y al aumento de la impedancia de la celda después del ciclado. El diagrama de Nyquist del ánodo de litio está dominado por un semicírculo, que se atribuye a SEI (interfaz de electrolito sólido), con una intersección del eje real a baja frecuencia de $100 \Omega\text{cm}^2$, que aumenta hasta $170 \Omega\text{cm}^2$ después del ciclado. Estos datos se deben comparar con las impedancias inicial y final de la celda de $120 \Omega\text{cm}^2$ y $180 \Omega\text{cm}^2$. El SEI de litio se puede mejorar al optimizar el ensamblaje de la celda. De hecho, el litio no está recubierto por ninguna capa protectora y se separa del cátodo solo por un separador de fibra de vidrio. La impedancia de RVCSP empeora ligeramente debido a que los procesos relacionados con la difusión se vuelven más lentos, como en el caso de los electrodos de CP probados en celdas agitadas convencionales.

30

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una batería de oxígeno y litio que comprende un ánodo de litio y un catolito fluido semisólido no acuoso, dicho catolito fluido semisólido no acuoso comprende un electrolito, oxígeno disuelto y partículas carbonáceas.
2. La batería de oxígeno y litio de la reivindicación 1, en la que electrolito se selecciona del grupo que consiste en TEGDME/LiTFSI, líquidos iónicos y dimetilsulfóxido/LiTFSI.
- 10 3. La batería de oxígeno y litio de la reivindicación 1 o 2, en la que el catolito contiene entre 1×10^{-3} y 20×10^{-3} mol/L de oxígeno disuelto, preferiblemente el catolito está saturado de oxígeno.
4. La batería de oxígeno y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que las partículas carbonáceas son insolubles en el catolito.
- 15 5. La batería de oxígeno y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que las partículas carbonáceas están comprendidas de negro de carbón conductor.
6. La batería de oxígeno y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que las partículas carbonáceas están presentes en el catolito en un porcentaje en peso con respecto al electrolito de entre 1 y 50% p/p, preferiblemente entre 2 y 20% p/p.
- 20 7. La batería de oxígeno y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende adicionalmente un colector (9) de corriente de cátodo poroso en el que, preferiblemente, dicho colector (9) de corriente de cátodo poroso comprende un material poroso seleccionado del grupo que comprende papel carbón, carbono vítreo reticulado, carbono vítreo reticulado recubierto con negro de carbón conductor, carbonos mesoporosos, carbonos activados, carbonos nanoestructurados y combinaciones de los mismos.
- 25 8. La batería de oxígeno y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende adicionalmente dos contactos (6) eléctricos en los que, preferiblemente, se conecta un contacto eléctrico a un terminal positivo de la batería y el otro contacto eléctrico se conecta a un terminal negativo de la batería.
- 30 9. La batería de oxígeno y litio de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende adicionalmente un separador (8), en el que el separador está situado preferiblemente entre el ánodo (7) de litio y el colector (9) de corriente del cátodo poroso, que comprende preferiblemente adicionalmente una bomba (4), en la que dicha bomba hace circular el catolito en la batería.
- 35 10. Un catolito fluido no acuoso, semisólido, que comprende un electrolito, oxígeno disuelto y partículas carbonáceas.
- 40 11. El uso de la batería de oxígeno y litio de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o el catolito de la reivindicación 10 en un vehículo eléctrico.
12. El uso de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho vehículo eléctrico se selecciona del grupo que comprende automóviles, motos, camiones, escúteres, bicicletas.
- 45 13. Un vehículo eléctrico que comprende la batería de oxígeno y litio de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o el catolito de la reivindicación 10, en la que dicho vehículo eléctrico se selecciona preferiblemente del grupo que comprende automóviles, motos, camiones, escúteres, bicicletas.
- 50 14. El uso de la batería de oxígeno y litio de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o el catolito de la reivindicación 10 en plantas estacionarias, en la que dicha planta estacionaria se selecciona preferiblemente del grupo que comprende plantas de energías renovables.
- 55 15. Una planta estacionaria que comprende la batería de oxígeno y litio de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o el catolito de la reivindicación 10, en la que dicha planta estacionaria se selecciona preferiblemente del grupo que comprende plantas de energías renovables.

FIG 1

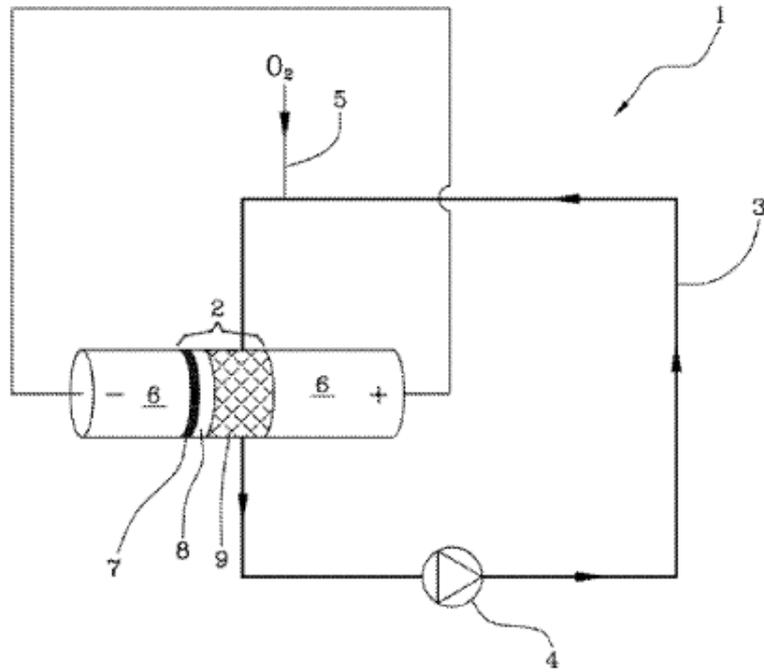


FIG 2

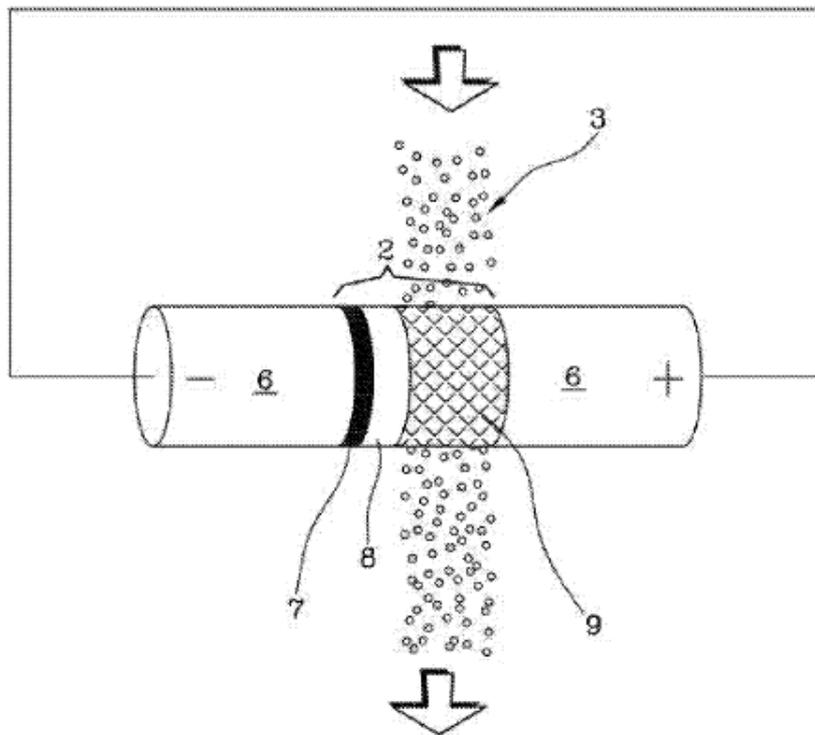


FIG 3A

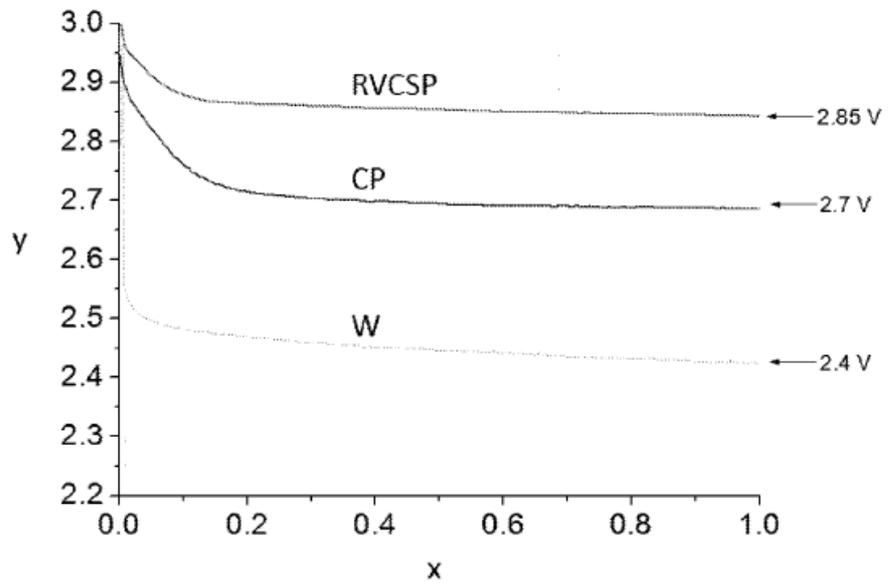


FIG 3B

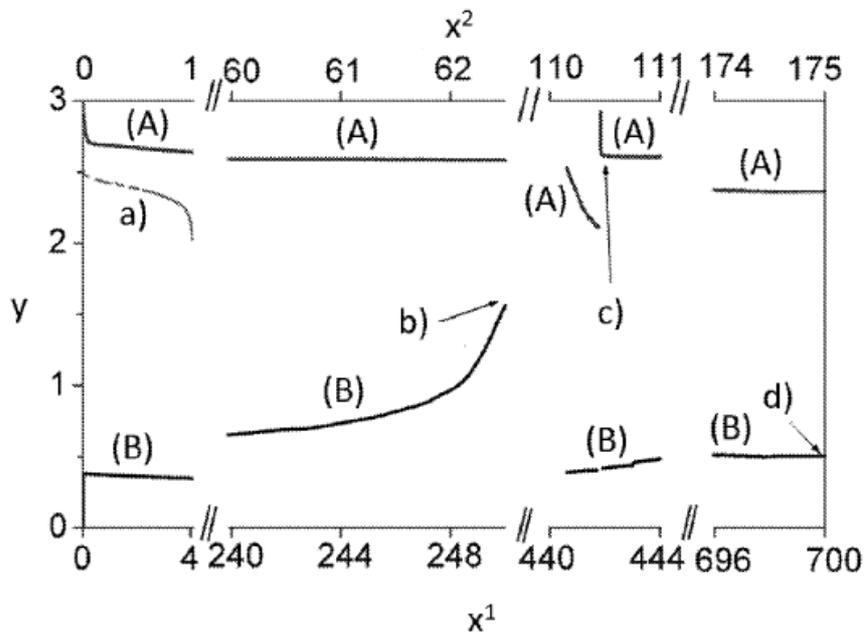


FIG 4A

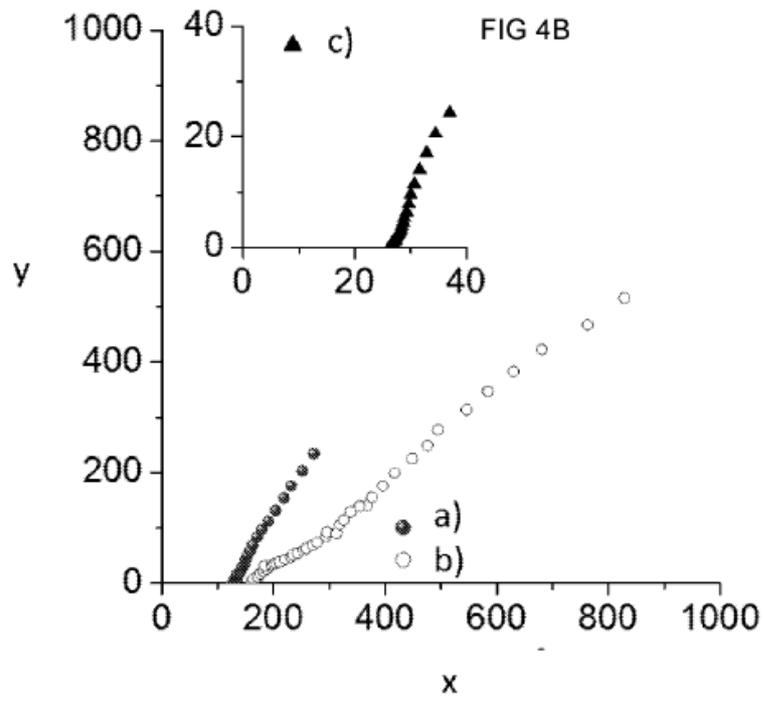
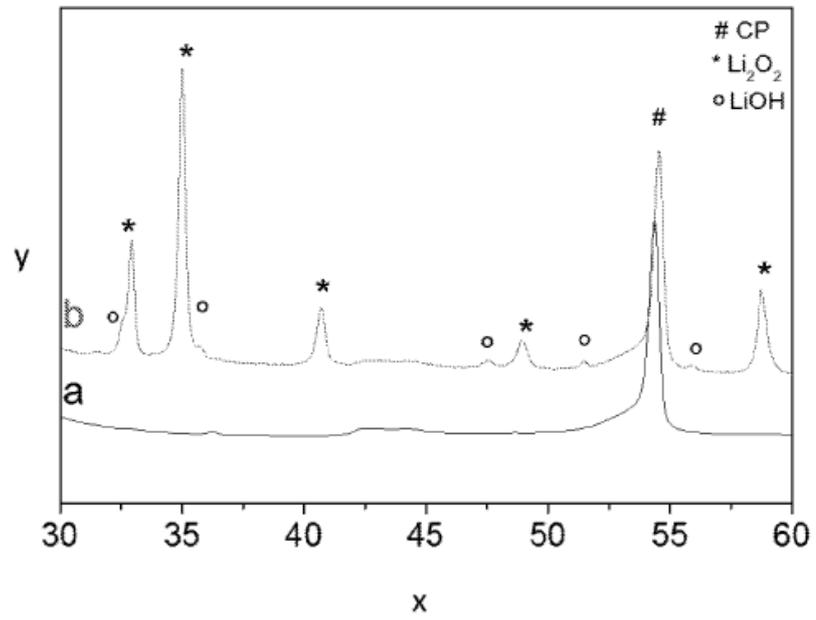


FIG 5A

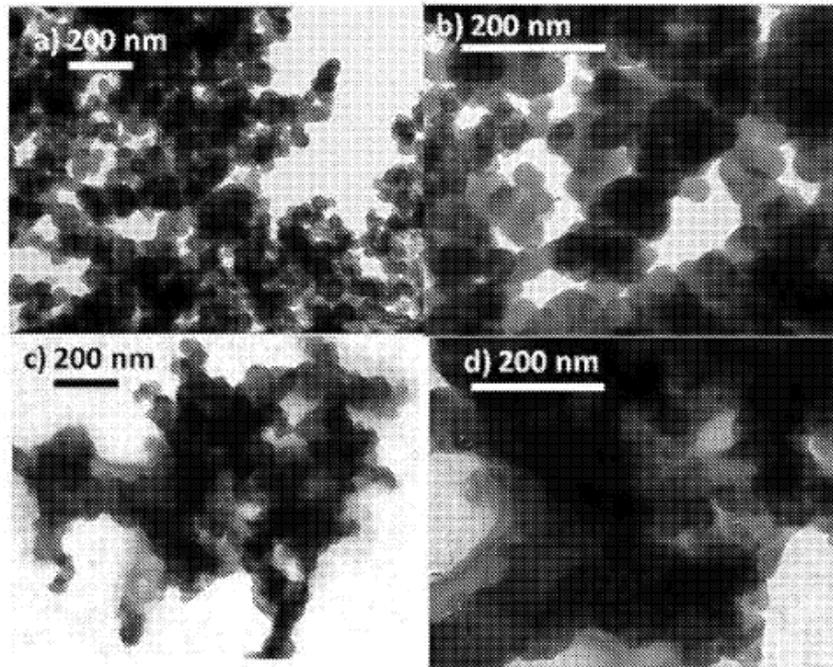


FIG 5B

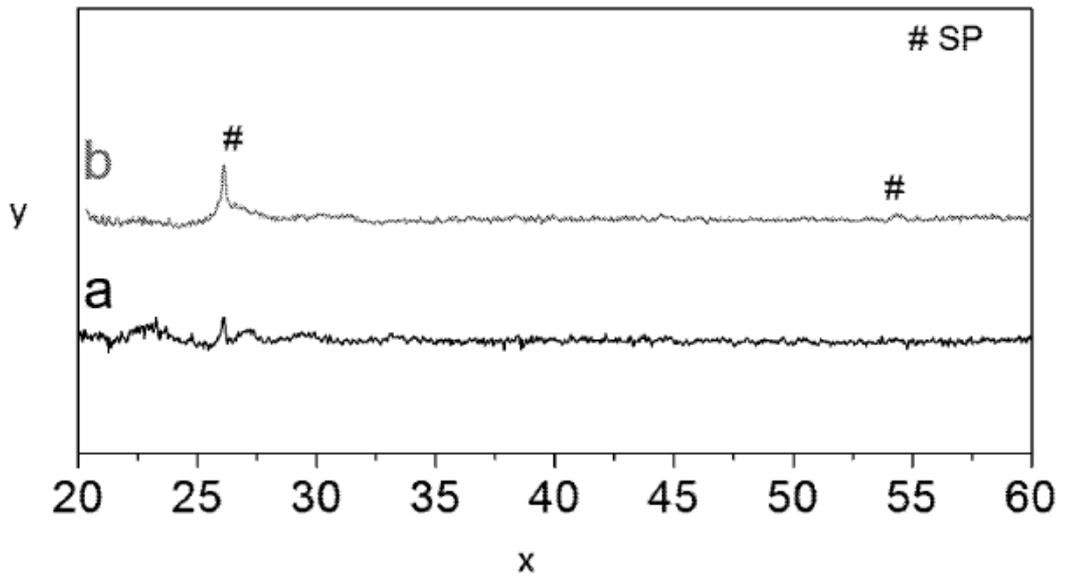


FIG 6

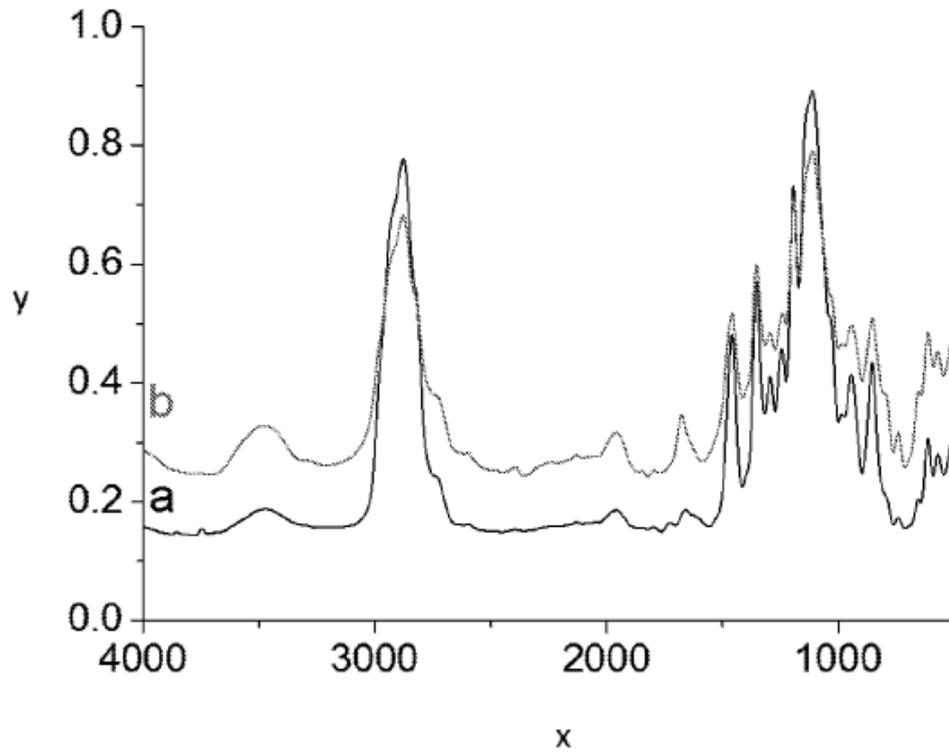


FIG 7

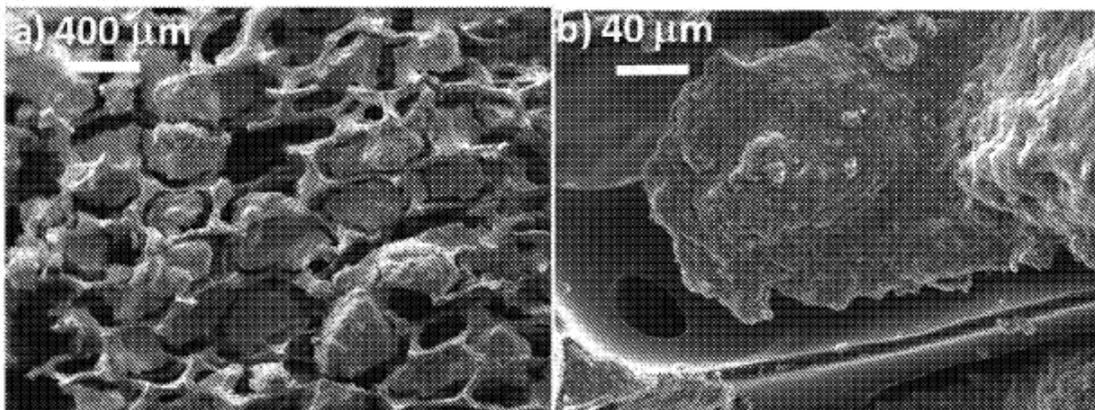


FIG 8A

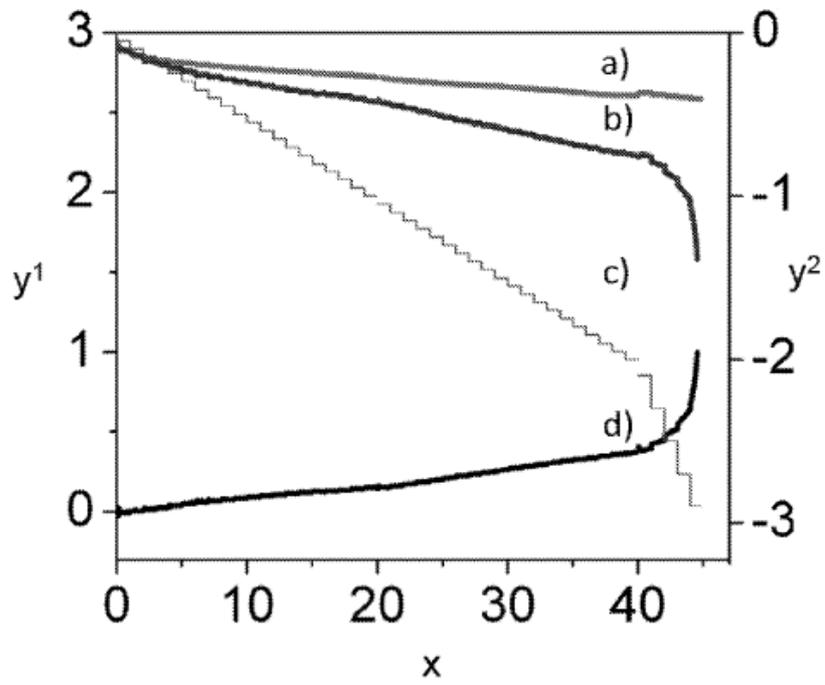
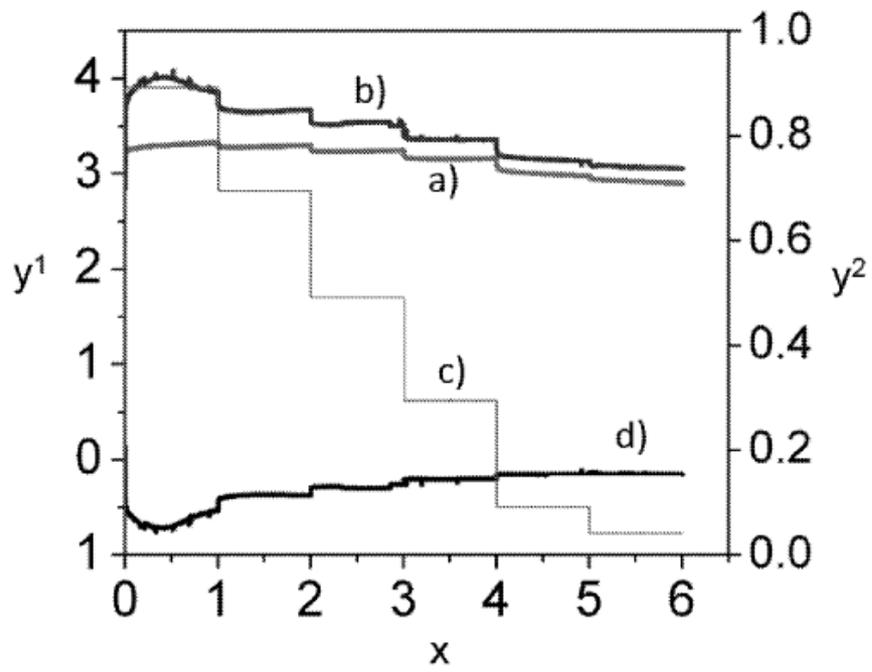


FIG 8B



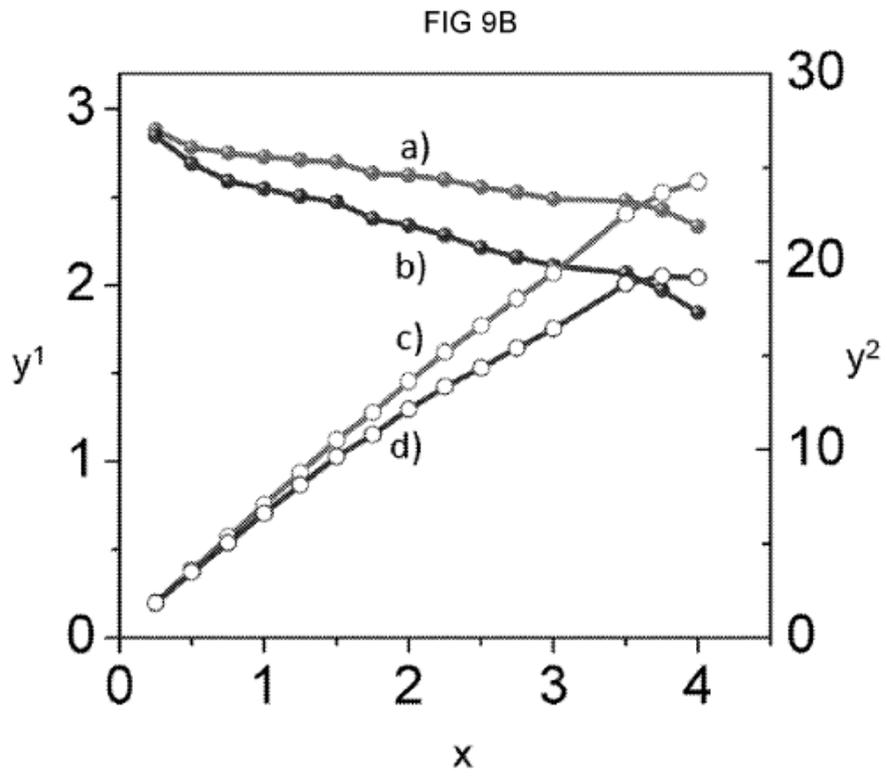
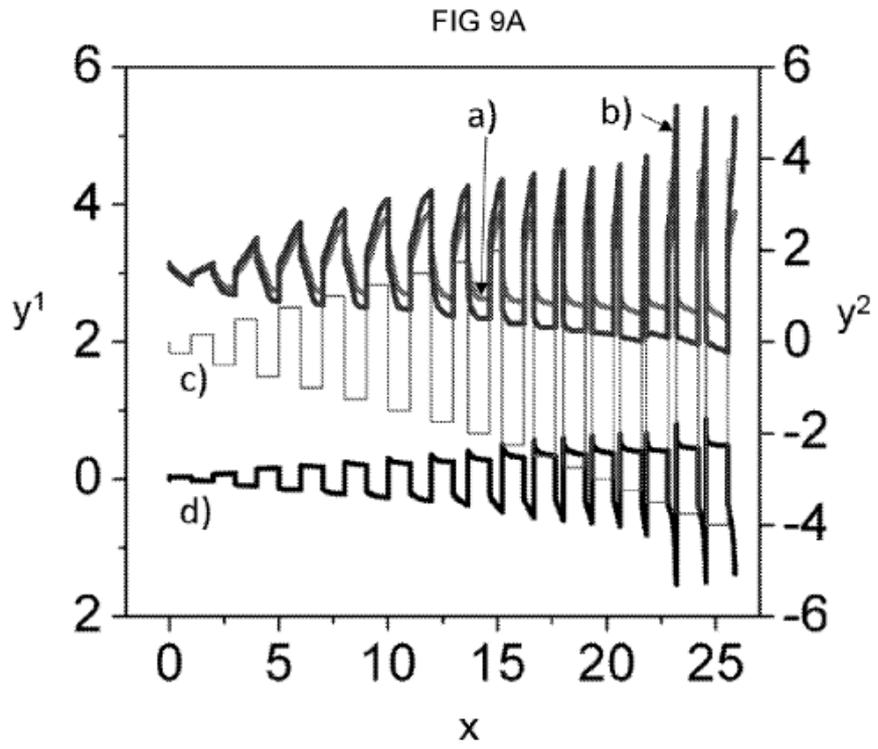


FIG 10

