

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 742**

51 Int. Cl.:

H01M 50/414	(2011.01) H01M 10/0525	(2010.01)
H01M 50/417	(2011.01) H01M 10/42	(2006.01)
H01M 50/426	(2011.01) H01M 10/0587	(2010.01)
H01M 50/431	(2011.01)	
H01M 50/434	(2011.01)	
H01M 50/437	(2011.01)	
H01M 50/446	(2011.01)	
H01M 50/451	(2011.01)	
H01M 50/457	(2011.01)	
H01M 50/489	(2011.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2019** **E 19186637 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023** **EP 3712983**

54 Título: **Separador y dispositivo electroquímico**

30 Prioridad:

18.03.2019 CN 201910205297

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.03.2024

73 Titular/es:

**NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LIMITED
(100.0%)
No.1, Xingang Road, Zhangwang Town,
Jiaocheng Area
352100 Ningde City Fujian, CN**

72 Inventor/es:

**ZHOU, XINHUI y
ZHANG, XIAOFENG**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 960 742 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

Separador y dispositivo electroquímico

5 **SECTOR DE LA SOLICITUD**

La presente solicitud se refiere al sector de los dispositivos electroquímicos, en particular, a un separador y a un dispositivo electroquímico.

10 **ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR**

En la actualidad, la aplicación de dispositivos electroquímicos (tal como las baterías de iones de litio) es cada vez más popular y las condiciones y el entorno de utilización son cada vez más complicados. Por ejemplo, se deben mejorar aún más la carga y descarga en condiciones de alta velocidad, la utilización en un entorno de
15 baja temperatura, y el ciclo de vida, etc. En estas condiciones y circunstancias, la utilización inadecuada o el mal manejo provocarán la precipitación de litio en el electrodo negativo del dispositivo electroquímico para producir dendritas de litio. Además, en el proceso del ciclo del dispositivo electroquímico, debido a la influencia de su propia polarización, está aumentando la probabilidad de que se generen dendritas de litio por la precipitación de litio en el electrodo negativo en la mitad y al final de su vida útil. Como resultado, aumenta
20 significativamente el riesgo de cortocircuito interno del dispositivo electroquímico, lo que genera un riesgo de seguridad muy grande. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de medios técnicos para reducir el riesgo de seguridad de las dendritas de litio generadas por la precipitación de litio en el electrodo negativo durante toda la vida útil del dispositivo electroquímico.

25 La Patente US 2016/141576 A1 enseña un separador para una batería de litio recargable, que incluye un sustrato, una capa orgánica colocada en, como mínimo, una cara del sustrato y que incluye un material orgánico y una capa inorgánica colocada en, como mínimo, una cara del sustrato y que incluye un material inorgánico, en el que el material orgánico incluye dos o más tipos de partículas orgánicas que tienen diferentes tamaños de partículas entre sí.

30 La Patente EP 2838137 A1 enseña una batería de litio recargable, que incluye un electrodo positivo, un electrodo negativo y un separador entre el electrodo positivo y el electrodo negativo. El separador incluye un sustrato que tiene una primera cara orientada hacia el electrodo negativo y una segunda cara orientada hacia el electrodo positivo. Se coloca una primera capa en la primera cara del sustrato e incluye un material orgánico, y se coloca una segunda capa en la segunda cara del sustrato e incluye un material inorgánico.

35 La Patente US2015263324 A1 enseña un separador para una batería secundaria de litio, que comprende un sustrato de polímero poroso, una capa de recubrimiento porosa formada en, como mínimo, una superficie del sustrato de polímero poroso y que comprende partículas inorgánicas; y una capa de adhesión de electrodos formada a partir de partículas de polímero sobre la capa de recubrimiento porosa y que tiene un área que
40 varía del 1 al 30 % basado en el área total de la capa de recubrimiento porosa.

45 La Patente US 2014/322586 A1 se refiere a un separador para una batería secundaria que incluye una capa de recubrimiento porosa dual de partículas inorgánicas con diferentes características superficiales. Se describe, además, una batería secundaria que la incluye y un procedimiento para fabricar el separador. El separador puede incluir un sustrato poroso, una primera capa de recubrimiento porosa y una segunda capa de recubrimiento porosa. El separador tiene una dispersión uniforme de partículas inorgánicas en la capa de recubrimiento del separador y adsorbe un exceso de iones metálicos generados en la batería cuando la batería está fuera de un intervalo de temperatura de funcionamiento normal, garantizando de este modo la
50 seguridad de la batería.

La Patente CN108448160A da a conocer un separador que comprende dos capas conductoras de iones eléctricamente aislantes (31) en ambas superficies de una capa absorbente (32), esta última incluye una sustancia capaz de desintercalar litio de manera reversible (grafito, microperlas de mesocarbono, carbono
55 blando, carbono duro, compuesto de carbono-silicio, titanato de litio).

CARACTERÍSTICAS DE LA SOLICITUD

60 La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas. El ejemplo de la presente solicitud da a conocer un separador, que se utiliza para resolver los problemas de seguridad causados por el rápido crecimiento de dendritas de litio (por ejemplo, problemas para el dispositivo electroquímico causados por la generación de dendritas de litio debido a la polarización de los dispositivos electroquímicos después de la carga y descarga a altas velocidades, carga y descarga a bajas temperaturas y ciclos múltiples) para mejorar el rendimiento de seguridad, el rendimiento de velocidad, el rendimiento a baja temperatura y el rendimiento
65 de ciclo del dispositivo electroquímico.

La presente invención da a conocer un separador que comprende: un primer sustrato poroso; un segundo sustrato poroso; y una primera capa de recubrimiento que incluye una sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, y una primera partícula inorgánica; en el que la primera capa de recubrimiento está dispuesta entre el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso, en el que la primera partícula inorgánica es electroquímicamente estable de 0 a 5 V basada en Li/Li^+ , y en el que la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible se selecciona entre uno o más de grafito artificial, grafito natural, microperlas de mesocarbono, carbono blando, carbono duro, óxido de titanio-niobio y titanato de litio.

En el separador anterior, en el que el primer sustrato poroso tiene un espesor de $0,5\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$; el segundo sustrato poroso tiene un espesor de $0,5\ \mu\text{m}$ a $50\ \mu\text{m}$; la primera capa de recubrimiento tiene un espesor de $0,05\ \mu\text{m}$ a $10\ \mu\text{m}$.

En el separador anterior, en el que la primera capa de recubrimiento incluye, además, un aglutinante, y el aglutinante se selecciona entre uno o más de copolímeros de fluoruro de vinilo-hexafluoropropileno, copolímeros de fluoruro de vinilideno-tricloroetileno, poliestireno, poliacrilato, ácido poliacrílico, sal de ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, polivinilpirrolidona, acetato de polivinilo, copolímero de etileno-acetato de vinilo, poliimida, óxido de polietileno, acetato de celulosa, acetobutirato de celulosa, acetopropionato de celulosa, cianoetilamilopectina, cianoetil alcohol polivinílico, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, amilopectina, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio, carboximetilcelulosa de litio, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, polifitalaldehído fenildiamina, alcohol polivinílico, copolímero de estireno-butadieno y fluoruro de polivinilideno.

En el separador anterior, en el que el poliacrilato incluye uno o más de poli(metacrilato de metilo), poli(acrilato de etilo), poli(acrilato de propilo) y poli(acrilato de butilo).

En el separador anterior, en el que, como mínimo, una de una superficie del primer sustrato poroso alejada de la primera capa de recubrimiento y una superficie del segundo sustrato poroso alejada de la primera capa de recubrimiento incluye una segunda capa de recubrimiento, y la segunda capa de recubrimiento incluye uno de una segunda partícula inorgánica y un polímero o ambos.

En el separador anterior, en el que la primera partícula inorgánica se selecciona entre, como mínimo, una de a) una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, b) una partícula inorgánica con piezoelectricidad y c) una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio.

En el separador anterior, en el que la partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más se selecciona entre uno o más de SrTiO_3 , SnO_2 , CeO_2 , MgO , NiO , CaO , ZnO , ZrO_2 , Y_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , boehmita, hidróxido de magnesio y SiC .

En el separador anterior, en el que la partícula inorgánica con propiedad piezoeléctrica se selecciona entre uno o más de BaTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$ (PLZT), $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMN-PT) y Hafnia (HfO_2).

En el separador anterior, en el que la partícula inorgánica con conductividad de iones de litio se selecciona entre, como mínimo, uno de: fosfato de litio (Li_3PO_4); fosfato de litio y titanio $\text{Li}_x\text{Ti}_y(\text{PO}_4)_3$, en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 3$; fosfato de litio, aluminio y titanio ($\text{Li}_x\text{Al}_y\text{Ti}_z(\text{PO}_4)_3$), en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 1$, $0 < z < 3$; vidrio de tipo $(\text{LiAlTiP})_x\text{O}_y$, en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 13$; titanato de litio y lantano ($\text{Li}_x\text{La}_y\text{TiO}_3$), en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 3$; tiofosfato de litio y germanio ($\text{Li}_x\text{Ge}_y\text{P}_z\text{S}_w$), en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$, $0 < w < 5$; nitrato de litio (Li_xN_y), en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 2$; vidrio de tipo SiS_2 ($\text{Li}_x\text{Si}_y\text{S}_z$), en el que $0 < x < 3$, $0 < y < 2$, $0 < z < 4$; y vidrio de tipo P_2S_5 ($\text{Li}_x\text{P}_y\text{S}_z$), en el que $0 < x < 3$, $0 < y < 3$, $0 < z < 7$.

En el separador anterior, en el que la primera partícula inorgánica tiene un diámetro de partícula promedio (Dv_{50}) de $0,001\ \mu\text{m}$ a $15\ \mu\text{m}$, el diámetro de partícula promedio (Dv_{50}) significa que las partículas inorgánicas alcanzan el 50 % del volumen acumulativo desde el lado de las partículas de tamaño pequeño en la distribución granulométrica en función del volumen.

En el separador anterior, en el que la segunda partícula inorgánica tiene un diámetro de partícula promedio (Dv_{50}) de $0,001\ \mu\text{m}$ a $15\ \mu\text{m}$.

En el separador anterior, en el que la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible es de 0,1 a 16.

En el separador anterior, en el que la segunda capa de recubrimiento incluye una segunda partícula inorgánica y un polímero, y el porcentaje en peso de las segundas partículas inorgánicas es del 40 % al 99 %, basado en el peso total de la segunda capa de recubrimiento.

En el separador anterior, en el que el polímero se selecciona entre uno o más de copolímero de fluoruro de vinilo-hexafluoropropileno, copolímero de fluoruro de vinilideno-tricloroetileno, poliestireno, poliacrilato, ácido poliacrílico, sal de ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, polivinilpirrolidona, acetato de polivinilo, copolímero de etileno-acetato de vinilo, poliimida, óxido de polietileno, acetato de celulosa, acetobutirato de celulosa, acetopropionato de celulosa, cianoetilamilopectina, cianoetil alcohol polivinílico, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, amilopectina, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio, carboximetilcelulosa de litio, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, poliformaldehído fenildiamina, alcohol polivinílico, copolímero de estireno-butadieno y fluoruro de polivinilideno.

En el separador anterior, en el que el poliacrilato incluye uno o más de poli(metacrilato de metilo), poli(acrilato de etilo), poli(acrilato de propilo) y poli(acrilato de butilo).

En el separador anterior, en el que el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso son una película polimérica, una película polimérica multicapa o una tela no tejida formada por uno o más de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, poliformaldehído fenildiamina, tereftalato de polibutileno, poliéster, poliacetato, poliamida, policarbonato, poliimida, polieterétercetona, poliarilétercetona, poliéterimida, poliamidoimida, polibencimidazol, poliétersulfona, polifeniléneter, copolímero de olefina cíclica, sulfuro de polifenileno y polietilenonaftaleno, en el que el polietileno se selecciona de, como mínimo, un componente de polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y polietileno de peso molecular ultraelevado.

En el separador anterior, en el que el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso tienen un diámetro de poro promedio de 0,001 μm a 10 μm , y el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso tienen una porosidad del 5 % al 95 %.

En el separador anterior, en el que la segunda partícula inorgánica se selecciona entre, como mínimo, una de a) una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, b) una partícula inorgánica con piezoelectricidad y c) una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio.

En el separador anterior, en el que la partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más se selecciona entre uno o más de SrTiO_3 , SnO_2 , CeO_2 , MgO , NiO , CaO , ZnO , ZrO_2 , Y_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , boehmita, hidróxido de magnesio y SiC .

En el separador anterior, en el que la partícula inorgánica con propiedad piezoeléctrica se selecciona entre uno o más de BaTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$ (PLZT), $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMN-PT) y óxido de cerio (HfO_2).

En el separador anterior, en el que la partícula inorgánica con conductividad de iones de litio se selecciona entre, como mínimo, uno de: fosfato de litio (Li_3PO_4); fosfato de litio y titanio $\text{Li}_x\text{Ti}_y(\text{PO}_4)_3$, en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 3$; fosfato de litio, aluminio y titanio ($\text{Li}_x\text{Al}_y\text{Ti}_z(\text{PO}_4)_3$), en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 1$, $0 < z < 3$; vidrio de tipo $(\text{LiAlTiP})_x\text{O}_y$, en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 13$; titanato de litio y lantano ($\text{Li}_x\text{La}_y\text{TiO}_3$), en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 3$; tiofosfato de litio y germanio ($\text{Li}_x\text{Ge}_y\text{P}_z\text{S}_w$), en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$, $0 < w < 5$; nitrato de litio (Li_xN_y), en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 2$; vidrio de tipo SiS_2 ($\text{Li}_x\text{Si}_y\text{S}_z$), en el que $0 < x < 3$, $0 < y < 2$, $0 < z < 4$; y vidrio de tipo P_2S_5 ($\text{Li}_x\text{P}_y\text{S}_z$), en el que $0 < x < 3$, $0 < y < 3$, $0 < z < 7$.

La presente solicitud da a conocer, además, un dispositivo electroquímico que comprende: un electrodo positivo; un electrodo negativo y un separador, comprendiendo el separador: un primer sustrato poroso; un segundo sustrato poroso y una primera capa de recubrimiento que incluye una sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, y una primera partícula inorgánica; en el que la primera capa de recubrimiento está dispuesta entre el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso.

En el dispositivo electroquímico anterior, en el que el dispositivo electroquímico es una batería de iones de litio y la batería de iones de litio incluye un conjunto de electrodos, siendo el conjunto de electrodos de tipo enrollado.

Al disponer la primera capa de recubrimiento que incluye una sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, y una primera partícula inorgánica entre el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso, la presente solicitud puede mejorar significativamente el rendimiento de seguridad, el rendimiento de velocidad, el rendimiento a baja temperatura y el rendimiento de ciclo del dispositivo electroquímico.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS ADJUNTOS

La figura 1 muestra una vista esquemática del separador, según algunos ejemplos de la presente solicitud. La figura 2 muestra una vista esquemática del separador, según algunos otros ejemplos de la presente solicitud.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS EJEMPLOS

Los ejemplos ilustrativos se describen con suficiente detalle a continuación, pero estos ejemplos ilustrativos se pueden implementar de diversas maneras y no se deben interpretar como limitados a los ejemplos establecidos en el presente documento. Más bien, estos ejemplos se proporcionan para que la presente solicitud sea minuciosa y completa y el alcance de la presente solicitud se transmita completamente a los expertos en la materia.

La figura 1 muestra una vista esquemática del separador, según algunos ejemplos de la presente solicitud. Tal como se muestra en la figura 1, el separador de la presente solicitud comprende sustratos porosos 1 y una primera capa de recubrimiento 2 dispuesta entre los sustratos porosos 1. En la presente solicitud, los sustratos porosos 1 ubicados en ambos lados de la primera capa de recubrimiento 2 se pueden denominar primer sustrato poroso y segundo sustrato poroso, respectivamente, y el primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso se pueden utilizar indistintamente.

La primera capa de recubrimiento 2 incluye una sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, y una primera partícula inorgánica, que se mezclan uniformemente, de modo que, por un lado, la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible puede inhibir el crecimiento de dendritas de litio, y por otro lado, debido a la buena resistencia al calor de la primera partícula inorgánica y al contacto directo con el sustrato poroso, se puede evitar la contracción por calor del primer sustrato poroso y del segundo sustrato poroso, para mejorar la resistencia a la contracción por calor del separador.

En el caso de la utilización normal de un dispositivo electroquímico (tal como una batería de iones de litio), es decir, cuando el sustrato poroso (el primer sustrato poroso o el segundo sustrato poroso) en la primera capa de recubrimiento 2 frente al electrodo negativo no ha sido perforada por las dendritas de litio que han crecido en el electrodo negativo, la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento 2 puede no causar una reacción electroquímica, dado que la primera capa de recubrimiento 2 no es eléctricamente conductora, de modo que no se puede reducir la primera eficiencia del dispositivo electroquímico (tal como la batería de iones de litio) y no se puede causar una pérdida de densidad de energía del dispositivo electroquímico (tal como la batería de iones de litio). Al mismo tiempo, dado que la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible y la primera partícula inorgánica en la primera capa de recubrimiento 2 tienen un buen efecto humectante sobre la solución electrolítica, con la combinación de formación de poros por parte de la primera partícula inorgánica, la primera capa de recubrimiento 2 puede absorber el electrolito líquido (solución electrolítica), de modo que el exceso de solución electrolítica se almacene en la primera capa de recubrimiento 2 para garantizar que la solución electrolítica se almacene entre los electrodos positivo y negativo, haciendo de este modo que la solución electrolítica no aparezca en la superficie del conjunto de electrodos para un mejor efecto de retención de líquido, mejorando aún más el fenómeno de elevación del líquido de un dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio.

Si se abusa del dispositivo electroquímico (tal como una batería de iones de litio) para que produzca dendritas de litio, durante el crecimiento de las dendritas de litio, las dendritas de litio en primer lugar perforarán el sustrato poroso (el primer sustrato poroso o el segundo sustrato poroso) cerca del lado del electrodo negativo, y a continuación entrarán en contacto con la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento 2, provocando que la primera capa de recubrimiento 2 sea eléctricamente conductora, momento en el cual la primera capa de recubrimiento 2 también pasa a formar parte del electrodo negativo del dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio. Debido a la conducción de electrones, la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento 2 comienza a sufrir una reacción electroquímica (reacción de intercalación de litio), lo que aumenta rápidamente el canal de intercalación de iones de litio, es decir, una gran cantidad de iones de litio están incrustados en la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento 2. Dado que los iones de litio acumulados en la superficie del electrodo negativo se consumen rápidamente, se suprime el crecimiento adicional de dendritas de litio, reduciendo de este modo en gran medida el riesgo de seguridad causado por el crecimiento de dendritas de litio que perforan el sustrato poroso (el primer sustrato poroso o el segundo sustrato poroso) orientado hacia el lado del electrodo positivo. Además, cuando el dispositivo electroquímico (tal como una batería de iones de litio) se descarga, dado que la dendrita de litio conecta el electrodo negativo y la primera capa de recubrimiento 2, la primera capa de recubrimiento 2 se enciende eléctricamente y el litio incrustado en la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento 2 pierde electrones y se convierte en iones de litio que regresan a la solución electrolítica mientras que parte del litio en las dendritas de litio también pierde electrones y se convierte en iones de litio que regresan a la solución electrolítica, de modo que las dendritas de litio se desconectan de la primera capa de recubrimiento 2. Una vez que las dendritas de litio se desconectan de la primera capa de recubrimiento 2, la primera capa de recubrimiento 2 ya no es eléctricamente conductora y no se produce ninguna reacción electroquímica. Todo el proceso inhibe el crecimiento de dendritas de litio durante la siguiente carga para crear un espacio de intercalación de litio.

Los sustratos porosos 1 son una película polimérica, una película polimérica multicapa o una tela no tejida formada por uno cualquiera o más de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, polifitalaldehído fenildiamina, tereftalato de polibutileno, poliéster, poliacetal, poliamida, policarbonato, poliimida, polieterétercetona, poliarilétercetona, polieterimida, poliamidaimida, polibencimidazol, polietersulfona, éter de polifenileno, copolímero de olefina cíclica, sulfuro de polifenileno y polietilenonaftaleno. El polietileno se selecciona entre, como mínimo, un componente de polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y polietileno de peso molecular ultraelevado. Los sustratos porosos 1 tienen un diámetro de poro promedio de 0,001 μm a 10 μm . Los sustratos porosos 1 tienen una porosidad del 5 % al 95 %. Además, los sustratos porosos 1 tienen un espesor de entre 0,5 μm y 50 μm .

La sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible se selecciona entre uno o más de grafito artificial, grafito natural, microperlas de mesocarbono (MCMB, *mesocarbon microbeads*), carbono blando, carbono duro, óxido de titanio-niobio y titanato de litio. La primera capa de recubrimiento 2 tiene un espesor de entre 0,05 μm y 10 μm . Dado que la primera capa de recubrimiento 2 es demasiado delgada, por un lado es difícil de procesar, y por otro lado, la primera capa de recubrimiento 2 es demasiado delgada, de modo que el contenido de la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible es demasiado pequeño, el efecto de intercalar y desintercalar litio durante el ciclo es limitado y es posible que la formación de dendritas de litio no se inhiba de manera eficaz. La primera capa de recubrimiento 2 es demasiado gruesa, lo que da como resultado un exceso de la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, y el exceso de sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible no sólo ya no actúa para intercalar y desintercalar litio, sino que también reduce la densidad de energía de todo el dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio.

Las primeras partículas inorgánicas no están particularmente limitadas siempre que sean electroquímicamente estables de 0 a 5 V basado en Li/Li^+ .

En otras palabras, las partículas inorgánicas que se utilizan en la presente solicitud no están particularmente limitadas siempre que no estén sujetas a oxidación y/o reducción en el intervalo de voltaje de excitación (0 a 5 V basado en Li/Li^+) de los dispositivos electroquímicos (por ejemplo, baterías de iones de litio) a las que se aplican. En particular, se utilizan partículas inorgánicas que tienen una conductividad iónica lo más elevada posible, dado que dichas partículas inorgánicas pueden mejorar la conductividad iónica y la calidad del dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio. Además, cuando se utilizan partículas inorgánicas que tienen una densidad elevada, son difíciles de dispersar en la etapa de recubrimiento y pueden aumentar el peso del dispositivo electroquímico (por ejemplo, una batería de iones de litio) que se va a fabricar. Por lo tanto, se utilizan partículas inorgánicas que tienen la menor densidad posible. Además, cuando se utilizan partículas inorgánicas que tienen una constante dieléctrica elevada, pueden contribuir a un aumento en el grado de disociación de una sal de electrolito, tal como una sal de litio en un electrolito líquido, mejorando de este modo la conductividad iónica del electrolito. Por estas razones, en la presente solicitud, se utiliza una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, una partícula inorgánica con piezoelectricidad y una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio, o una mezcla de las mismas.

Entre los ejemplos no limitantes de partículas inorgánicas que tienen una constante dieléctrica de 5 o más se incluyen SrTiO_3 , SnO_2 , CeO_2 , MgO , NiO , CaO , ZnO , ZrO_2 , Y_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , boehmita, hidróxido de magnesio, SiC o una mezcla de los mismos.

De manera general, un material que tiene piezoelectricidad se refiere a un material que es un aislante a presión normal pero que permite el paso de una corriente debido a un cambio en su estructura interna cuando se le aplica un cierto intervalo de presión. La partícula inorgánica con piezoelectricidad exhibe una constante dieléctrica elevada de 100 o más. Cuando se aplica un cierto intervalo de presión para estirarlos o comprimirlos, quedan cargados positivamente en una superficie y negativamente en la otra superficie. Por tanto, la partícula inorgánica con piezoelectricidad genera una diferencia de potencial entre sus dos superficies. Cuando las partículas inorgánicas que tienen las características anteriores se utilizan en la primera capa de recubrimiento 2, y cuando se produce un cortocircuito interno entre los dos electrodos debido a un impacto externo, tal como aplastamiento parcial, punzonamiento o similar, es posible que se impida el contacto directo entre el electrodo positivo y el electrodo negativo. Además, la piezoelectricidad de las partículas inorgánicas puede permitir que se genere una diferencia de potencial en las partículas, permitiendo así el movimiento de electrones, es decir, un flujo diminuto de corriente entre los dos electrodos. Por lo tanto, es posible lograr una reducción lenta de voltaje de un dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio y mejorar la seguridad de un dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio. Entre los ejemplos no limitantes de partículas inorgánicas con propiedad piezoeléctrica se incluyen BaTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$ (PLZT), $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMN-PT) y Hafnia (HfO_2) o una mezcla de los mismos.

“Partículas inorgánicas que tienen conductividad de iones de litio” significa que las partículas inorgánicas contienen litio y tienen la capacidad de conducir iones de litio sin almacenar litio. Dado que los defectos en la

estructura de las partículas inorgánicas que tienen conductividad de iones de litio pueden conducir y mover iones de litio, se puede mejorar la conductividad de iones de litio de un dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio y se puede mejorar la calidad del dispositivo electroquímico, tal como una batería de iones de litio. Entre los ejemplos no limitantes de dichas partículas inorgánicas que tienen conductividad de iones de litio se incluyen fosfato de litio (Li_3PO_4), fosfato de litio y titanio ($\text{Li}_x\text{Ti}_y(\text{PO}_4)_3$, $0 < x < 2$, $0 < y < 3$), fosfato de litio, aluminio y titanio ($\text{Li}_x\text{Al}_y\text{Ti}_z(\text{PO}_4)_3$, $0 < x < 2$, $0 < y < 1$, $0 < z < 3$), vidrio de tipo $(\text{LiAlTiP})_x\text{O}_y$ tal como $14\text{Li}_2\text{O}-9\text{Al}_2\text{O}_3-38\text{TiO}_2-39\text{P}_2\text{O}_5$ ($0 < x < 4$, $0 < y < 13$), titanato de litio y estroncio ($\text{Li}_x\text{La}_y\text{TiO}_3$, $0 < x < 2$, $0 < y < 3$), tiofosfato de litio, tal como $\text{Li}_{3,25}\text{Ge}_{0,25}\text{P}_{0,75}\text{S}_4$ ($\text{Li}_x\text{Ge}_y\text{P}_z\text{S}_w$, $0 < x < 4$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$, $0 < w < 5$), nitrato de litio, tal como Li_3N (Li_xN_y , $0 < x < 4$, $0 < y < 2$), vidrio de tipo SiS_2 , tal como $\text{Li}_3\text{PO}_4\text{-Li}_2\text{S-SiS}_2$ ($\text{Li}_x\text{Si}_y\text{S}_z$, $0 < x < 3$, $0 < y < 2$, $0 < z < 4$), vidrio de tipo P_2S_5 , tal como $\text{LiI-Li}_2\text{S-P}_2\text{S}_5$ ($\text{Li}_x\text{P}_y\text{S}_z$, $0 < x < 3$, $0 < y < 3$, $0 < z < 7$) o una mezcla de los mismos.

El diámetro promedio de partícula (D_{v50}) de la primera partícula inorgánica es de $0,001\text{ }\mu\text{m}$ a $15\text{ }\mu\text{m}$. La presencia de la primera partícula inorgánica en la primera capa de recubrimiento 2 puede aumentar significativamente la porosidad de la primera capa de recubrimiento. La presencia de estos poros contribuye, por un lado, a la infiltración del electrolito y, por otro lado, facilita el paso de los iones de litio, mejorando de este modo el rendimiento de velocidad del dispositivo electroquímico. Además, dado que la primera partícula inorgánica tiene una dureza mayor que la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible y el aglutinante, la dureza general de la primera capa de recubrimiento puede aumentar, lo que también puede impedir en cierta medida el crecimiento de dendritas de litio. Si el diámetro promedio de partícula de las primeras partículas inorgánicas es inferior a $0,001\text{ }\mu\text{m}$, las partículas inorgánicas tienen poca capacidad de dispersión e incluso tienden a la aglomeración, lo que da como resultado una débil capacidad de formación de poros, lo que afecta al paso de los iones de litio, afectando de este modo al rendimiento de velocidad del dispositivo electroquímico. Si el diámetro promedio de partícula de las primeras partículas inorgánicas es superior a $15\text{ }\mu\text{m}$, por un lado, no puede obtenerse un espesor delgado de la primera capa de recubrimiento, lo que afecta a la densidad de energía del dispositivo electroquímico y, por otro lado, el área de contacto de las primeras partículas inorgánicas y el sustrato poroso es pequeña, de modo que la contracción por calor del sustrato poroso no se puede reducir de manera eficaz.

Cuando el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible está dentro de un cierto intervalo, la primera capa de recubrimiento puede ejercer un buen efecto general. Cuando el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible es de $0,1$ a 16 , la tasa de contracción por calor del separador se puede reducir de manera eficaz y el crecimiento de dendritas de litio puede suprimirse de manera eficaz hasta cierto punto, de modo que la resistencia a la contracción por calor del separador y la capacidad de inhibir el crecimiento de dendritas de litio puedan mejorarse al máximo.

En algunos ejemplos, la primera capa de recubrimiento incluye, además, un aglutinante. El aglutinante se selecciona entre uno o más de copolímero de fluoruro de vinilo-hexafluoropropileno, copolímero de fluoruro de vinilideno-tricloroetileno, poliestireno, poliácido, ácido poliacrílico, sal de ácido poliacrílico, poliácridonitrilo, polivinilpirrolidona, acetato de polivinilo, copolímero de etileno-acetato de vinilo, poliimida, óxido de polietileno, acetato de celulosa, acetobutirato de celulosa, acetopropionato de celulosa, cianoetilamilopectina, cianoetil alcohol polivinílico, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, amilopectina, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio, carboximetilcelulosa de litio, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, polifitalaldehído fenildiamina, alcohol polivinílico, copolímero de estireno-butadieno y fluoruro de polivinilideno.

Tal como se muestra en la figura 2, en algunos ejemplos, una superficie de los sustratos porosos 1 alejada de la primera capa de recubrimiento 2 incluye, además, una segunda capa de recubrimiento 3, y la segunda capa de recubrimiento 3 incluye uno de una segunda partícula inorgánica y un polímero o ambos. Aunque tanto la superficie del primer sustrato poroso alejada de la primera capa de recubrimiento 2 como una superficie del segundo sustrato poroso alejada de la primera capa de recubrimiento 2 incluyen una segunda capa de recubrimiento 3, tal como se muestra en la figura 2, también es posible incluir la segunda capa de recubrimiento solo en la superficie del primer sustrato poroso alejada de la primera capa de recubrimiento 2 o solo en la superficie del segundo sustrato poroso alejada de la primera capa de recubrimiento 2. De manera similar, la segunda partícula inorgánica se puede seleccionar también entre, como mínimo, una de a) una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, b) una partícula inorgánica con piezoelectricidad y c) una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio. El material de la segunda partícula inorgánica y de la primera partícula inorgánica puede ser igual o diferente. Es decir, la primera partícula inorgánica y la segunda partícula inorgánica se seleccionan cada una, de forma independiente, entre, como mínimo, una de a) una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, b) una partícula inorgánica con piezoelectricidad y c) una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio. Por lo tanto, los materiales que se pueden utilizar en las segundas partículas inorgánicas no se describen repetidamente en el presente documento.

El diámetro promedio de partícula (Dv50) de la segunda partícula inorgánica es de 0,001 μm a 15 μm . La presencia de la segunda partícula inorgánica en la segunda capa de recubrimiento puede aumentar significativamente la porosidad de la segunda capa de recubrimiento. La presencia de estos poros contribuye, por un lado, a la infiltración del electrolito y, por otro lado, facilita el paso de los iones de litio, mejorando de este modo el rendimiento del dispositivo electroquímico. Si el diámetro promedio de partícula de las segundas partículas inorgánicas es inferior a 0,001 μm , las partículas inorgánicas tienen poca capacidad de dispersión e incluso tienden a la aglomeración, lo que da como resultado una capacidad débil de formación de poros, lo que afecta al paso de los iones de litio, afectando de este modo al rendimiento de velocidad del dispositivo electroquímico. Si el diámetro promedio de partícula de las segundas partículas inorgánicas es superior a 15 μm , por un lado, no puede obtenerse un espesor delgado de la segunda capa de recubrimiento, lo que afecta a la densidad de energía del dispositivo electroquímico y, por otro lado, el área de contacto de las segundas partículas inorgánicas y el sustrato poroso es pequeña, de modo que la contracción por calor del sustrato poroso no se puede reducir de manera eficaz.

El polímero en la segunda capa de recubrimiento se selecciona entre uno o más de copolímero de fluoruro de vinilo-hexafluoropropileno, copolímero de fluoruro de vinilideno-tricloroetileno, poliestireno, poliacrilato, ácido poliacrílico, sal de ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, polivinilpirrolidona, acetato de polivinilo, copolímero de etileno-acetato de vinilo, poliimida, óxido de polietileno, acetato de celulosa, acetobutirato de celulosa, acetopropionato de celulosa, cianoetilamilopectina, cianoetil alcohol polivinílico, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, amilopectina, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio, carboximetilcelulosa de litio, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, poliformaldehído fenildiamina, alcohol polivinílico, copolímero de estireno-butadieno y fluoruro de polivinilideno. El poliacrilato incluye uno o más de poli(metacrilato de metilo), poli(acrilato de etilo), poli(acrilato de propilo) y poli(acrilato de butilo).

El contenido de la segunda partícula inorgánica no está particularmente limitado. Sin embargo, el porcentaje en peso de la segunda partícula inorgánica es del 40 % al 99 %, basado en el peso total de la segunda capa de recubrimiento. Si el porcentaje en peso de las segundas partículas inorgánicas es inferior al 40 %, el polímero está presente en una gran cantidad, reduciendo de este modo el volumen del espacio formado entre las segundas partículas inorgánicas y reduciendo el diámetro de los poros y la porosidad, dando como resultado una conducción más lenta de los iones de litio y la degradación del rendimiento del dispositivo electroquímico (tal como la batería de iones de litio). Si el porcentaje en peso de las segundas partículas inorgánicas es superior al 99 %, el contenido del polímero es demasiado bajo para adherirse suficientemente a las segundas partículas inorgánicas, lo que da como resultado una disminución de las propiedades mecánicas del separador finalmente conformado.

A continuación, se describe un procedimiento de preparación ejemplar del separador de la presente solicitud. El procedimiento comprende disolver un aglutinante en un disolvente para formar una primera solución; añadir una sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible y una primera partícula inorgánica a una primera solución, y mezclar la misma para obtener una primera suspensión; recubrir con la primera suspensión una superficie de un primer sustrato poroso y, a continuación laminar un segundo sustrato poroso sobre una superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso estén integrados para preparar el separador, tal como el que se muestra en la figura 1 después del secado.

De manera específica, en primer lugar, el aglutinante se disuelve en un disolvente adecuado para proporcionar una primera solución. El disolvente tiene el mismo parámetro de solubilidad y un punto de ebullición bajo que el aglutinante utilizado porque dicho disolvente se mezcla fácilmente de manera uniforme y se elimina fácilmente. Añadir la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible y las primeras partículas inorgánicas y dispersar en la primera solución obtenida mediante las etapas anteriores es para proporcionar una mezcla de la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, las primeras partículas inorgánicas y el aglutinante para formar la primera suspensión. El disolvente que se puede utilizar se selecciona entre, como mínimo, uno de agua, N-metil-2-pirrolidona, acetona, tetrahidrofurano, cloroformo, diclorometano, dimetilformamida y ciclohexano. Con la primera suspensión se recubre una superficie de un primer sustrato poroso para formar una primera capa de recubrimiento y, a continuación, se lamina un segundo sustrato poroso sobre una superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso se integran para preparar el separador, tal como el que se muestra en la figura 1 después del secado.

Para recubrir con la primera suspensión la superficie del primer sustrato poroso, se puede utilizar cualquier procedimiento conocido por los expertos en la materia, entre los que se incluyen recubrimiento por inmersión, recubrimiento con matriz, recubrimiento con rodillo, recubrimiento con cuchilla o una combinación de los mismos.

La presente solicitud también da a conocer una batería de iones de litio que incluye el separador anterior. En la presente solicitud, una batería de iones de litio es simplemente un ejemplo ilustrativo de un dispositivo

electroquímico, que también puede incluir otros dispositivos adecuados. La batería de iones de litio comprende, además, un electrodo positivo, un electrodo negativo y un electrolito, en la que el separador de la presente solicitud se inserta entre el electrodo positivo y el electrodo negativo. El colector de corriente positivo puede ser una lámina de aluminio y una lámina de níquel, y el colector de corriente negativo puede ser una lámina de cobre o una lámina de níquel.

Electrodo positivo

El electrodo positivo incluye un material de electrodo positivo que incluye un material de electrodo positivo (a continuación, denominado a veces "material de electrodo positivo capaz de intercalar/desintercalar litio Li") capaz de intercalar y desintercalar litio (Li). Entre los ejemplos del material de electrodo positivo capaz de intercalar/desintercalar litio Li se pueden incluir cobaltato de litio, óxido de litio, níquel, cobalto y manganeso, aluminato de litio, níquel y cobalto, manganato de litio, fosfato de litio, manganeso y hierro, fosfato de litio y vanadio, fosfato de litio y vanadio, fosfato de litio y hierro, titanato de litio y materiales a base de manganeso ricos en litio.

De manera específica, la fórmula química del cobaltato de litio puede ser como la fórmula química 1:



en la que M1 representa, como mínimo, uno seleccionado entre el grupo que consiste en níquel (Ni), manganeso (Mn), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), estaño (Sn), calcio (Ca), estroncio (Sr), wolframio (W), itrio (Y), lantano (La), circonio (Zr) y silicio (Si), y los valores de x, a, b y c se encuentran, respectivamente, en los siguientes intervalos: $0,8 \leq x \leq 1,2$, $0,8 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 0,2$, $-0,1 \leq c \leq 0,2$;

la fórmula química del óxido de litio, níquel, cobalto y manganeso o del aluminato de litio, níquel y cobalto puede ser como la fórmula química 2:



en la que M2 representa, como mínimo, uno seleccionado entre el grupo que consiste en cobalto (Co), manganeso (Mn), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), estaño (Sn), calcio (Ca), estroncio (Sr), wolframio (W), circonio (Zr) y silicio (Si), y los valores de y, d, e y f están, respectivamente, en los siguientes intervalos: $0,8 \leq y \leq 1,2$, $0,3 \leq d \leq 0,98$, $0,02 \leq e \leq 0,7$, $-0,1 \leq f \leq 0,2$;

la fórmula química del óxido de litio y manganeso puede ser como la fórmula química 3:



en la que M3 representa, como mínimo, uno seleccionado entre el grupo que consiste en cobalto (Co), níquel (Ni), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), estaño (Sn), calcio (Ca), estroncio (Sr) y wolframio (W), y los valores de z, g, y h están, respectivamente, en los siguientes intervalos: $0,8 \leq z \leq 1,2$, $0 \leq g \leq 1,0$ y $-0,2 \leq h \leq 0,2$.

Electrodo negativo

El electrodo negativo incluye un material de electrodo negativo que incluye el material de electrodo negativo (a continuación, denominado a veces "material de electrodo negativo capaz de intercalar/desintercalar litio Li") capaz de intercalar y desintercalar litio (Li). Entre los ejemplos del material de electrodo negativo capaz de intercalar/desintercalar litio Li se pueden incluir materiales de carbono, compuestos metálicos, óxidos, sulfuros, nitruros de litio tales como LiN_3 , litio metálico, metales que forman aleaciones junto con litio y materiales poliméricos.

Entre los ejemplos de materiales de carbono se pueden incluir carbono poco grafitizado, carbono fácilmente grafitizable, grafito artificial, grafito natural, micropérlas de mesocarbono, carbono blando, carbono duro, carbono pirrolítico, coque, carbono vítreo, cuerpo sinterizado de compuesto de polímero orgánico, fibra de carbono y carbón activado. Entre ellos, el coque puede incluir el coque de brea, el coque de aguja y el coque de petróleo. El cuerpo sinterizado de compuesto de polímero orgánico se refiere a un material obtenido calcinando un material polimérico, tal como un plástico de fenol o una resina de furano a una temperatura adecuada para la carbonización, y algunos de estos materiales se clasifican en carbono poco grafitizado o carbono fácilmente grafitizable. Entre los ejemplos del material polimérico se pueden incluir poliacetileno y polipirrol.

Además, en el material de electrodo negativo capaz de intercalar/desintercalar litio Li, se selecciona un

material cuyos voltajes de carga y descarga estén cercanos a los voltajes de carga y descarga del litio metálico. Esto se debe a que cuanto menor sea el voltaje de carga y descarga del material de electrodo negativo, más fácil será que el dispositivo electroquímico (tal como la batería de iones de litio) tenga una mayor densidad de energía. Entre ellos, el material de electrodo negativo se puede seleccionar entre

5 materiales de carbono porque sus estructuras cristalinas cambian sólo ligeramente durante la carga y descarga y, por lo tanto, se pueden obtener buenas características de ciclo, así como grandes capacidades de carga y descarga. En particular, se puede seleccionar el grafito porque proporciona un gran equivalente electroquímico y una densidad de energía elevada.

10 Además, el material del electrodo negativo capaz de intercalar/desintercalar litio (Li) puede incluir litio metálico elemental, elementos metálicos y elementos semimetálicos capaces de formar una aleación junto con el litio (Li), y aleaciones y compuestos de dichos elementos. En particular, se utilizan junto con materiales de carbono porque en este caso se pueden obtener buenas características de ciclo, así como una densidad de energía elevada. Además de las aleaciones que comprenden dos o más elementos metálicos, entre las

15 aleaciones utilizadas en el presente documento se incluyen también aleaciones que comprenden uno o más elementos metálicos y uno o más elementos semimetálicos. La aleación puede estar en forma de una solución sólida, un cristal eutéctico o mezcla eutéctica, un compuesto intermetálico y una mezcla de los mismos.

20 Entre los ejemplos del elemento metálico y del elemento semimetálico se pueden incluir estaño (Sn), plomo (Pb), aluminio (Al), indio (In), silicio (Si), zinc (Zn), antimonio (Sb), bismuto (Bi), cadmio (Cd), magnesio (Mg), boro (B), galio (Ga), germanio (Ge), arsénico (As), plata (Ag), circonio (Zr), itrio (Y) y hafnio (Hf). Entre los ejemplos de las aleaciones y compuestos anteriores se pueden incluir un material que tiene una fórmula química $\text{Ma}_s\text{Mb}_t\text{Li}_u$ y un material que tiene una fórmula química $\text{Ma}_p\text{Mc}_q\text{Md}_r$. En estas

25 fórmulas químicas, Ma indica, como mínimo, uno de entre un elemento metálico y un elemento semimetálico capaz de formar una aleación junto con el litio; Mb denota, como mínimo, uno de un elemento metálico y un elemento semimetálico distinto de litio y Ma; Mc indica, como mínimo, uno de los elementos no metálicos; Md indica, como mínimo, uno de entre un elemento metálico y un elemento semimetálico distinto de Ma; y s, t, u, p, q y r cumplen con $s > 0$, $t \geq 0$, $u \geq 0$, $p > 0$, $q > 0$ y $r \geq 0$.

30 Además, en el electrodo negativo se puede utilizar un compuesto inorgánico que no incluya litio (Li), tal como MnO_2 , V_2O_5 , V_6O_{13} , NiS y MoS.

Electrolito

35 La batería de iones de litio anterior incluye, además, un electrolito que puede ser uno o más de un electrolito en gel, un electrolito sólido y una solución electrolítica, y la solución electrolítica incluye una sal de litio y un disolvente no acuoso.

40 La sal de litio se selecciona entre uno o más de LiPF_6 , LiBF_4 , LiAsF_6 , LiClO_4 , $\text{LiB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$, LiCH_3SO_3 , LiCF_3SO_3 , $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$, $\text{LiC}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_3$, LiSiF_6 , LiBOB y difluoroborato de litio. Por ejemplo, la sal de litio selecciona LiPF_6 porque puede proporcionar una conductividad iónica elevada y características de ciclo mejoradas.

45 El disolvente no acuoso puede ser un compuesto de carbonato, un compuesto de carboxilato, un compuesto de éter, otros disolventes orgánicos o una combinación de los mismos.

El compuesto de carbonato puede ser un compuesto de carbonato alifático, un compuesto de carbonato cíclico, un compuesto de fluorocarbonato o una combinación de los mismos.

50 Entre los ejemplos del compuesto de carbonato alifático están carbonato de dietilo (DEC), carbonato de dimetilo (DMC), carbonato de dipropilo (DPC), carbonato de metilpropilo (MPC), carbonato de etileno propilo (EPC) y carbonato de metiletileno (MEC) y combinaciones de los mismos. Entre los ejemplos del compuesto de carbonato cíclico están carbonato de etileno (EC), carbonato de propileno (PC), carbonato de butileno (BC), carbonato de vinil etileno (VEC) y combinaciones de los mismos. Entre los ejemplos del compuesto de fluorocarbonato están carbonato de fluoroetileno (FEC), carbonato de 1,2-difluoroetileno, carbonato de 1,1-difluoroetileno, carbonato de 1,1,2-trifluoroetileno, carbonato de 1,1,2,2-tetrafluoroetileno, carbonato de 1-fluoro-2-metiletileno, carbonato de 1-fluoro-1-metiletileno, carbonato de 1,2-difluoro-1-metiletileno, carbonato de 1,1,2-trifluoro-2-metiletileno, carbonato de trifluorometiletileno y combinaciones de los mismos.

60 Entre los ejemplos del compuesto de carboxilato están acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de n-propilo, acetato de t-butilo, propionato de metilo, propionato de etilo, propionato de propilo, γ -butirolactona, azlactona, valerolactona, mevalonolactona, caprolactona, formiato de metilo y combinaciones de los mismos.

65 Entre los ejemplos de los compuestos de éter están éter dibutílico, tetraglima, diglima, 1,2-dimetoxietano, 1,2-dietoxietano, etoximetoxietano, 2-metiltetrahidrofurano, tetrahidrofurano y combinaciones de los mismos.

Entre los ejemplos de otros disolventes orgánicos están dimetilsulfóxido, 1,2-dioxolano, sulfolano, metilsulfolano, 1,3-dimetil-2-imidazolidinona, N-metil-2-pirrolidona, formamida, dimetilformamida, acetonitrilo, trimetilfosfato, trietilfosfato, fosfato y fosfato de trioctilo y combinaciones de los mismos.

Aunque lo anterior se ejemplifica con una batería de iones de litio, los expertos en la materia pueden entender que el separador de la presente solicitud se puede utilizar para otros dispositivos electroquímicos adecuados después de leer la presente solicitud. Dichos dispositivos electroquímicos incluyen cualquier dispositivo que genere una reacción electroquímica, y entre los ejemplos específicos de los mismos se incluyen todo tipo de baterías primarias, baterías secundarias, baterías de combustible, baterías solares o condensadores.

El dispositivo electroquímico se puede fabricar utilizando procedimientos convencionales conocidos por los expertos en la materia. En un ejemplo del procedimiento de fabricación de un dispositivo electroquímico, se conforma el conjunto de electrodos con un separador interpuesto entre el electrodo positivo y el electrodo negativo, y a continuación se inyecta un electrolito líquido en el conjunto de electrodos, proporcionando de este modo el dispositivo electroquímico. Dependiendo del procedimiento de fabricación y de las propiedades requeridas para el producto final, el electrolito se puede inyectar en una etapa adecuada durante el proceso de fabricación del dispositivo electroquímico. En otras palabras, el electrolito líquido se puede inyectar antes del montaje del dispositivo electroquímico o en la etapa final durante el montaje del dispositivo electroquímico.

De manera específica, el dispositivo electroquímico de la presente solicitud puede ser una batería de iones de litio, y el conjunto de electrodos de la batería de iones de litio puede ser de tipo enrollado, de tipo laminado (apilado) y de tipo plegado. En particular, todo el separador del conjunto de electrodos enrollado es un cuerpo unitario, y la primera capa de recubrimiento 2 también está integrada en un cuerpo, para garantizar que cuando la dendrita de litio se conecta al electrodo negativo y la primera capa de recubrimiento 2 en un punto, toda la primera capa de recubrimiento 2 puede intercalar y desintercalar litio. De esta manera, se aumenta la proporción de utilización de la primera capa de recubrimiento 2, de modo que el espesor de la primera capa de recubrimiento 2 se puede reducir tanto como sea posible, y se mejora la tasa de utilización del material que intercala y desintercala litio de manera reversible. Por lo tanto, es posible que tampoco se vea afectada la densidad de energía de la batería de iones de litio.

A continuación, se toma como ejemplo una batería de iones de litio y se describe una preparación de la batería de iones de litio conjuntamente con ejemplos específicos. Los expertos en la materia entenderán que el procedimiento de preparación descrito en la presente solicitud es simplemente un ejemplo, y cualquier otro procedimiento de preparación adecuado queda dentro del alcance de la presente solicitud.

El proceso de preparación de la batería de iones de litio de los ejemplos y ejemplos comparativos de la presente solicitud es el siguiente:

Ejemplo comparativo 1

(1) Preparación del separador

Se disuelve en agua desionizada una sustancia de grafito artificial que intercala y desintercala litio de manera reversible, un aglutinante de caucho de estireno butadieno (SBR), un espesante de carboximetilcelulosa de sodio (CMC), a una proporción en masa de 96:2:2 para preparar una suspensión uniforme, con la suspensión se recubre una superficie del primer sustrato poroso (polietileno, con un espesor de 5 μm , un diámetro de poro promedio de 0,073 μm y una porosidad del 26 %) para formar una primera capa de recubrimiento, a continuación se lamina un segundo sustrato poroso (polietileno, con un espesor de 5 μm , un diámetro de poro promedio de 0,073 μm y una porosidad del 26 %) sobre la superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso se integran para preparar un separador necesario después del secado. De entre ellos, la primera capa de recubrimiento tiene un espesor de 2 μm .

(2) Preparación del electrodo positivo

Se disuelven una sustancia activa positiva de $\text{LiCo}_{0,92}\text{Mg}_{0,03}\text{Al}_{0,02}\text{Ti}_{0,03}\text{O}_2$, un agente conductor de negro de acetileno y un aglutinante de fluoruro de polivinilideno (PVDF) en un sistema disolvente de N-metilpirrolidona en una proporción en peso de 94:3:3 para agitar completamente y mezclar uniformemente, a continuación, se recubre con él un colector de corriente positiva de papel de aluminio para secar, prensar en frío y cortar para obtener un electrodo positivo.

(3) Preparación del electrodo negativo

Se disuelven una sustancia activa negativa de grafito artificial, un agente conductor de negro de acetileno, un aglutinante de caucho de estireno butadieno (SBR) y un espesante de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) en un sistema disolvente de agua desionizada, según la proporción en peso de 96:1:1,5:1,5, a continuación, se recubre con él un colector de corriente negativa de lámina de Cu para secar, prensar en frío y cortar para obtener un electrodo negativo.

(4) Preparación de solución electrolítica

Una solución preparada mezclando una sal de litio de LiPF_6 y un disolvente orgánico no acuoso (carbonato de etileno (EC): carbonato de dietilo (DEC): carbonato de propileno (PC): propionato de propilo (PP): carbonato de vinileno (VC) = 20:30:20:28:2) en una proporción en masa de 8:92 se utiliza como electrolito de la batería de iones de litio.

(5) Preparación de batería de iones de litio

El electrodo positivo, el separador y el electrodo negativo se apilan en este orden, de modo que el separador esté en el medio del electrodo positivo y el electrodo negativo para funcionar como un aislamiento seguro, y a continuación se obtiene un conjunto de electrodo mediante bobinado. El conjunto de electrodos se coloca en una carcasa de empaquetamiento, se le inyecta una solución electrolítica y se empaqueta para obtener la batería de iones de litio.

Ejemplo comparativo 2

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo comparativo 1, excepto en que en el ejemplo comparativo 2 se utiliza un separador que tiene un espesor de 12 μm (polietileno, con un diámetro de poro promedio de 0,077 μm y una porosidad del 27 %).

Ejemplo 1

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo comparativo 1, excepto en que el procedimiento de preparación del separador del ejemplo 1 es el siguiente:

Se disuelve una sustancia de grafito artificial que intercala y desintercala litio de manera reversible, una primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3), un aglutinante de caucho de estireno butadieno (SBR), un espesante de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) en agua desionizada en una proporción en masa de 60:36:2:2 para preparar una suspensión uniforme, con la suspensión se recubre una superficie del primer sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) para formar una primera capa de recubrimiento, a continuación se lamina un segundo sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) sobre la superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso se integran para preparar el separador, tal como el que se muestra en la figura 1 después del secado. Entre ellos, el espesor de la primera capa de recubrimiento es de 2 μm , el diámetro promedio de partícula de la primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3) es de 1,2 μm y la proporción en masa de alúmina respecto a grafito artificial es de 0,6.

Ejemplo 2

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 2 es boehmita.

Ejemplo 3

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 3 es hidróxido de magnesio.

Ejemplo 4

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 4 es una mezcla en la que hay la mitad de cada una de alúmina y boehmita.

Ejemplo 5

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 5 es BaTiO_3 .

Ejemplo 6

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 6 es Li_3PO_4 .

Ejemplo 7

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 7 es grafito natural.

Ejemplo 8

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 8 son microperlas de mesocarbono.

Ejemplo 9

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 9 es titanato de litio.

Ejemplo 10

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 10 es 0,1.

Ejemplo 11

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 11 es 0,3.

Ejemplo 12

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 12 es 1,8.

Ejemplo 13

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 13 es 6,2.

Ejemplo 14

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 14 es 11,6.

Ejemplo 15

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 15 es 16.

Ejemplo 16

5 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 16 es de 0,001 μm .

Ejemplo 17

10 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 17 es de 0,16 μm .

Ejemplo 18

15 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 18 es de 0,72 μm .

Ejemplo 19

20 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 19 es de 2,8 μm .

25 Ejemplo 20

30 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 19 es de 6,7 μm .

Ejemplo 21

35 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica utilizada en la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 21 es de 14,6 μm .

Ejemplo 22

40 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el espesor de la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 22 es de 0,05 μm .

Ejemplo 23

45 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el espesor de la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 23 es de 0,6 μm .

Ejemplo 24

50 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el espesor de la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 24 es de 5 μm .

Ejemplo 25

55 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que el espesor de la primera capa de recubrimiento en el ejemplo 25 es de 10 μm .

Ejemplo 26

60 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que en el ejemplo 26 se utiliza un conjunto de electrodos de tipo apilado.

Ejemplo 27

65 El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo 1, excepto en que en el ejemplo 27 se utiliza un conjunto de electrodos de tipo plegado.

Ejemplo 28

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo comparativo 1, excepto en que el procedimiento de preparación del separador del ejemplo 28 es el siguiente:

Se disuelve una sustancia de grafito artificial que intercala y desintercala litio de manera reversible, una primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3), un aglutinante de caucho de estireno butadieno (SBR), un espesante de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) en agua desionizada en una proporción en masa de 60:36:2:2 para preparar una suspensión uniforme, con la suspensión se recubre una superficie del primer sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) para formar una primera capa de recubrimiento, a continuación se lamina un segundo sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) sobre la superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso se integran para preparar el separador tal como el que se muestra en la figura 1 después del secado. Entre ellos, el espesor de la primera capa de recubrimiento es de 2 μm , el diámetro promedio de partícula de la primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3) es de 1,2 μm y la proporción en masa de alúmina respecto a grafito artificial es de 0,6.

Se añaden 5 partes en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF) como polímero y se disuelven en 95 partes en peso de acetona como disolvente durante, aproximadamente, 12 horas o más para formar una segunda suspensión que puede recubrir, con la que se recubre la otra superficie del primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso del separador obtenido en las etapas anteriores para formar una segunda capa de recubrimiento después del secado, en el que el espesor de la segunda capa de recubrimiento es de 2 μm .

Ejemplo 29

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo comparativo 1, excepto en que el procedimiento de preparación del separador del ejemplo 29 es el siguiente:

Se disuelve una sustancia de grafito artificial que intercala y desintercala litio de manera reversible, una primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3), un aglutinante de caucho de estireno butadieno (SBR), un espesante de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) en agua desionizada en una proporción en masa de 60:36:2:2 para preparar una suspensión uniforme, con la suspensión se recubre una superficie del primer sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) para formar una primera capa de recubrimiento, a continuación, se lamina un segundo sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) sobre la superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso se integran para preparar el separador, tal como el que muestra en figura 1 después del secado. Entre ellos, el espesor de la primera capa de recubrimiento es de 2 μm , el diámetro promedio de partícula de la primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3) es de 1,2 μm y la proporción en masa de alúmina respecto a grafito artificial es de 0,6.

Se añaden 5 partes en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF) como polímero y se disuelven en 95 partes en peso de acetona como disolvente durante un período de, aproximadamente, 12 horas o más para obtener una segunda solución. Se mezcla y se dispersa una segunda partícula inorgánica de alúmina que tiene un Dv_{50} de 0,4 μm en la segunda solución preparada, de modo que la proporción en masa del polímero respecto a la segunda partícula inorgánica sea 14:86, para formar una segunda suspensión que puede recubrir, con la que se recubre la otra superficie del primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso del separador obtenido en las etapas anteriores para formar una segunda capa de recubrimiento después del secado, en el que el espesor de la segunda capa de recubrimiento es de 2 μm .

Ejemplo 30

El procedimiento de preparación es el mismo que el del ejemplo comparativo 1, excepto en que el procedimiento de preparación del separador del ejemplo 30 es el siguiente:

Se disuelve una sustancia de grafito artificial que intercala y desintercala litio de manera reversible, una primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3), un aglutinante de caucho de estireno butadieno (SBR), un espesante de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) en agua desionizada en una proporción en masa de 60:36:2:2 para preparar una suspensión uniforme, con la suspensión se recubre una superficie del primer sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) para formar una primera capa de recubrimiento, a continuación, se lamina un segundo sustrato poroso (polietileno, con espesor de 5 μm , diámetro de poro promedio de 0,073 μm y porosidad del 26 %) sobre la superficie de la primera capa de recubrimiento, seguido de laminación, de modo que el primer

sustrato poroso, la primera capa de recubrimiento y el segundo sustrato poroso se integran para preparar el separador tal como el que se muestra en la figura 1 después del secado. Entre ellos, el espesor de la primera capa de recubrimiento es de 2 μm , el diámetro promedio de partícula de la primera partícula inorgánica de alúmina (Al_2O_3) es de 1,2 μm y la proporción en masa de alúmina respecto a grafito artificial es de 0,6.

Se añaden 5 partes en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF) como polímero y se disuelven en 95 partes en peso de acetona como disolvente durante un período de, aproximadamente, 12 horas o más para obtener una segunda solución. Se mezcla y se dispersa una segunda partícula inorgánica de boehmita que tiene un Dv50 de 0,4 μm en la segunda solución preparada, de modo que la proporción en masa del polímero respecto a la segunda partícula inorgánica sea 22:78 para formar una segunda suspensión que puede recubrir, con la que se recubre la otra superficie del primer sustrato poroso y el segundo sustrato poroso del separador obtenido en las etapas anteriores para formar una segunda capa de recubrimiento después del secado, en el que el espesor de la segunda capa de recubrimiento es de 2 μm .

A continuación, se describirá el proceso de prueba de la batería de iones de litio.

1. Prueba del valor K

Para cada prueba se toman seis baterías de iones de litio y se promedian.

(1) Prueba de velocidad de autodescarga inicial de la batería de iones de litio:

En un entorno de 25 °C, la batería de iones de litio se carga a 3,85 V con una corriente constante de 0,7 C y, a continuación, se carga a una corriente de 0,05 C a un voltaje constante y se mide un voltaje de circuito abierto de la batería de iones de litio en este momento para registrarlo como OCV1. A continuación, la batería de iones de litio se deja a temperatura ambiente durante 48 horas y el voltaje de circuito abierto de la batería de iones de litio se prueba nuevamente para registrarlo como OCV2.

La velocidad de autodescarga inicial de la batería de iones de litio a temperatura ambiente es $K1 = (\text{OCV1} - \text{OCV2})/48$.

(2) Prueba de velocidad de autodescarga inicial de una batería de iones de litio en condiciones extremas:

En la primera etapa, en un entorno de 25 °C, la batería de iones de litio en (1) se descarga a 3,0 V con una corriente constante de 0,5 C para garantizar que permanezca la menor cantidad posible de iones de litio en el electrodo negativo antes de comenzar; en la segunda etapa, se deja reposar en un entorno de 0 °C durante 2 horas, a continuación se carga a 4,4 V con una corriente constante de 1,5 C y se carga a un voltaje constante hasta una corriente de 0,05 C (para garantizar la generación de dendritas de litio tanto como sea posible después de la carga completa), a continuación se mantuvo durante cinco minutos; en la tercera etapa, se descarga a 3,0 V con una corriente constante de 0,5 C. La segunda etapa y la tercera etapa son un proceso de ciclo de carga y descarga rápido a baja temperatura y gran velocidad. Según el procedimiento anterior, la batería de iones de litio se somete a 200 ciclos de carga y descarga rápida de gran velocidad y baja temperatura (la precipitación de litio del electrodo negativo se exacerba debido al consumo de electrolito líquido durante el ciclo), a continuación, se mantiene durante 2 horas a 25 °C, se carga a 4,4 V con una corriente constante de 0,7 C y, a continuación, se carga a una corriente de 0,05 C con un voltaje constante, se mantuvo durante cinco minutos, a continuación, se cargó a 3,0 V con una corriente constante de 0,5 C y se dejó reposar durante cinco minutos, se cargó nuevamente a 3,85 V con una corriente constante de 0,7 C y, a continuación, se cargó a una corriente constante de 0,05 C, para probar el voltaje de circuito abierto de la batería de iones de litio en este momento para registrarlo como OCV3. Posteriormente, se coloca en un entorno de 25 °C durante 48 horas y se prueba nuevamente el voltaje de circuito abierto de la batería de iones de litio para registrarlo como OCV4.

Velocidad de autodescarga inicial de la batería de iones de litio en condiciones extremas: $K2 = (\text{OCV3} - \text{OCV4})/48$.

2. Prueba de rendimiento de ciclo

Las baterías de iones de litio preparadas utilizando todos los ejemplos y ejemplos comparativos se cargan y descargan repetidamente mediante los siguientes procedimientos; se calcula la velocidad de retención de la capacidad de descarga de la batería de iones de litio.

Prueba de rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio: la batería de iones de litio se coloca en una incubadora a 45 °C y se deja reposar durante 20 minutos para mantener la batería de iones de litio a una temperatura constante. La batería de iones de litio que alcanza una temperatura constante se carga a una corriente constante de 0,7 C a un voltaje de 4,4 V y, a continuación, se carga a un voltaje constante de 4,4 V a una corriente de 0,05 C y, a continuación, se descarga a un voltaje de 3,0 V con una corriente constante

de 1 C, que es un ciclo de carga y descarga. Cuando la capacidad para la primera descarga es del 100 %, el ciclo de carga y descarga se repite hasta que la capacidad de descarga se atenúa al 80 %, entonces se detiene la prueba y se registra el número de ciclos como un índice para evaluar el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio.

5

Los parámetros experimentales y los resultados de las mediciones de los ejemplos 1-30 y los ejemplos comparativos 1-2 se muestran en la siguiente tabla 1. Para facilitar la comparación, los resultados de la tabla 1 se muestran en grupos.

10

Tabla 1

Parámetros experimentales de la presente solicitud										Rendimiento de la batería de iones de litio		
Ejemplos	Primera partícula inorgánica	Sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Valor de proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica/ μm	Espesor de la primera capa de recubrimiento/ μm	Selección de la segunda sustancia de recubrimiento	Contenido de segunda partícula inorgánica	Estructura del conjunto de electrodos	K1 promedio (mV/h)	K2 promedio (mV/h)	Rendimiento de ciclo/ciclos	
1	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,069	736	
2	Boehmita	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,036	0,061	752	
3	Hidróxido de magnesio	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,070	723	
4	Alúmina y boehmita	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,034	0,065	737	
5	BaTiO_3	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,058	715	
6	Li_3FeO_4	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,037	0,067	763	
7	Alúmina	grafito natural	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,034	0,070	731	
8	Alúmina	microperlas de mesocarbono	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,038	0,071	729	
9	Alúmina	titanato de litio	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,36	0,078	735	
10	Alúmina	grafito artificial	0,1	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,037	0,079	715	

(continuación)

Parámetros experimentales de la presente solicitud											Rendimiento de la batería de iones de litio		
Ejemplos	Primera partícula inorgánica	Sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Valor de proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica/ μm	Espesor de la primera capa de recubrimiento μm	Selección de la segunda sustancia de recubrimiento	Contenido de segunda partícula inorgánica	Estructura del conjunto de electrodos	K1 promedio (mV/h)	K2 promedio (mV/h)	Rendimiento de ciclo/ciclos		
11	Alúmina	Grafito artificial	0,3	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,036	0,071	719		
1	Alúmina	grafito	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,069	736		
		artificial						enrollado					
12	Alúmina	grafito artificial	1,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,063	752		
13	Alúmina	grafito artificial	6,2	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,034	0,062	738		
14	Alúmina	grafito artificial	11,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,034	0,072	732		
15	Alúmina	grafito artificial	16	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,033	0,078	733		
16	Alúmina	grafito artificial	0,6	0,001	2	/	/	Tipo enrollado	0,036	0,064	701		
17	Alúmina	grafito artificial	0,6	0,16	2	/	/	Tipo enrollado	0,036	0,065	708		
18	Alúmina	grafito artificial	0,6	0,72	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,067	718		
1	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,069	736		
19	Alúmina	grafito artificial	0,6	2,8	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,071	751		

(continuación)

Parámetros experimentales de la presente solicitud												Rendimiento de la batería de iones de litio		
Ejemplos	Primera partícula inorgánica	Sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Valor de proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica/μm	Espesor de la primera capa de recubrimiento/μm	Selección de la segunda sustancia de recubrimiento	Contenido de segunda partícula inorgánica	Estructura del conjunto de electrodos	K1 promedio (mV/h)	K2 promedio (mV/h)	Rendimiento de ciclo/ciclos			
20	Alúmina	grafito artificial	0,6	0,7	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,072	742			
21	Alúmina	grafito artificial	0,6	14,6	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,074	745			
22	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	0,05	/	/	Tipo enrollado	0,038	0,074	742			
23	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	0,6	/	/	Tipo enrollado	0,036	0,071	741			
1	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,069	736			
24	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	5	/	/	Tipo enrollado	0,033	0,062	727			
25	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	10	/	/	Tipo enrollado	0,033	0,051	729			
1	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo enrollado	0,035	0,069	736			
26	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo apliado	0,035	0,073	739			
27	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	/	/	Tipo plegado	0,035	0,070	732			

(continuación)

Parámetros experimentales de la presente solicitud										Rendimiento de la batería de iones de litio		
Ejemplos	Primera partícula inorgánica	Sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Valor de proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible	Tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica/μm	Espesor de la primera capa de recubrimiento/μm	Selección de la segunda sustancia de recubrimiento	Contenido de segunda partícula inorgánica	Estructura del conjunto de electrodos	K1 promedio (mV/h)	K2 promedio (mV/h)	Rendimiento de ciclo/ciclos	
28	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	PVDF	/	Tipo enrollado	0,033	0,068	728	
29	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	PVDF y alúmina	88%	Tipo enrollado	0,033	0,063	725	
30	Alúmina	grafito artificial	0,6	1,2	2	PVDF y boehmita	78%	Tipo enrollado	0,033	0,062	729	
Ejemplos comparativos												
1	/	grafito artificial	/	/	2	/	/	Tipo enrollado	0,037	0,072	638	
2	/	/	/	/	/	/	/	Tipo enrollado	0,039	0,136	588	

Al comparar los ejemplos 1-27 y el ejemplo comparativo 2, se sabe que, al utilizar el separador de la presente solicitud, el K1 y K2 promedio de la batería de iones de litio se reducen significativamente, lo que indica que la solución técnica de la presente solicitud puede inhibir significativamente el crecimiento de dendritas de litio en condiciones extremas y el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio también mejoró significativamente.

Al comparar los ejemplos 1-21 y el ejemplo comparativo 1, se sabe que, al utilizar la primera partícula inorgánica en la primera capa de recubrimiento del separador, las variaciones en el K1 y K2 promedio de la batería de iones de litio no son grandes, pero el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio mejora notablemente.

Al comparar los ejemplos 1-6, se sabe que la diferencia en el tipo de la primera partícula inorgánica en la primera capa de recubrimiento tiene poco efecto en el K1 y K2 promedio de la batería de iones de litio, y tiene cierta influencia en el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio.

Al comparar los ejemplos 7-9, se sabe que la diferencia en el tipo de sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en el primer recubrimiento tiene una ligera influencia en el K1 y K2 promedio y en el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio.

Al comparar el ejemplo 1 y los 10-15, se sabe que a medida que aumenta el valor de la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible en la primera capa de recubrimiento, el K1 promedio de la batería de iones de litio tiene una cierta tendencia a la disminución, y el K2 promedio de la batería de iones de litio en primer lugar disminuye y a continuación aumenta, mientras que el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio en primer lugar aumenta y a continuación disminuye.

Al comparar el ejemplo 1 y los 16-21, se sabe que a medida que aumenta el tamaño de partícula promedio de la primera partícula inorgánica en el primer recubrimiento, el K1 promedio de la batería de iones de litio no cambia significativamente, el K2 promedio de la batería de iones de litio muestra una tendencia creciente y el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio también está aumentando gradualmente.

Al comparar el ejemplo 1 y los 22-25, se sabe que a medida que aumenta el espesor de la primera capa de recubrimiento, el K1 y K2 promedio de la batería de iones de litio exhibe una tendencia a la disminución, y el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio tiende a disminuir.

Al comparar el ejemplo 1 y los 26-27, se sabe que cuando las otras condiciones son las mismas, el K1 promedio de la batería de iones de litio del conjunto de electrodos de tipo enrollado, tipo apilado y tipo plegado no es muy diferente, en el que la reducción en el K2 promedio de la batería de iones de litio del conjunto de electrodos de tipo enrollado es más pronunciado. Además, el conjunto de electrodos de tipo apilado es más eficaz para mejorar el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio.

Al comparar el ejemplo 1 y los 28-30, se sabe que la presencia de la segunda capa de recubrimiento facilita la reducción del K1 y K2 promedio de la batería de iones de litio, pero también se puede reducir el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio.

REIVINDICACIONES

1. Separador, que comprende:

un primer sustrato poroso (1);
un segundo sustrato poroso (1); y
una primera capa de recubrimiento (2) que incluye una sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible, y una primera partícula inorgánica;
en el que la primera capa de recubrimiento (2) está dispuesta entre el primer sustrato poroso (1) y el segundo sustrato poroso (1), y
en el que la primera partícula inorgánica es electroquímicamente estable de 0 a 5 V basado en Li/Li^+ , **caracterizado por que** la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible se selecciona entre uno o más de grafito artificial, grafito natural, micropérlas de mesocarbono, carbono blando, carbono duro, óxido de titanio-niobio y titanato de litio.

2. Separador, según la reivindicación 1, **caracterizado por que**

el primer sustrato poroso (1) tiene un espesor de 0,5 μm a 50 μm ;
el segundo sustrato poroso (1) tiene un espesor de 0,5 μm a 50 μm ;
la primera capa de recubrimiento (2) tiene un espesor de 0,05 μm a 10 μm .

3. Separador, según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la primera capa de recubrimiento (2) incluye, además, un aglutinante, y el aglutinante se selecciona entre uno o más de copolímero de fluoruro de vinilo-hexafluoropropileno, copolímero de fluoruro de vinilideno-tricloroetileno, poliestireno, poliácido, ácido poliacrílico, sal de ácido poliacrílico, poliacrilonitrilo, polivinilpirrolidona, acetato de polivinilo, copolímero de etileno-acetato de vinilo, poliimida, óxido de polietileno, acetato de celulosa, acetobutirato de celulosa, acetopropionato de celulosa, cianoetilamilopectina, cianoetil alcohol polivinílico, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, amilopectina, carboximetilcelulosa, carboximetilcelulosa de sodio, carboximetilcelulosa de litio, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, polifitalaldehído fenildiamina, alcohol polivinílico, copolímero de estireno-butadieno y fluoruro de polivinilideno.

4. Separador, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que**, como mínimo, una de una superficie del primer sustrato poroso (1) alejada de la primera capa de recubrimiento (2) y una superficie del segundo sustrato poroso (1) alejada de la primera capa de recubrimiento (2) incluye una segunda capa de recubrimiento (3), y la segunda capa de recubrimiento (3) incluye uno de una segunda partícula inorgánica y un polímero o ambos.

5. Separador, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la primera partícula inorgánica se selecciona entre, como mínimo, una de a) una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, b) una partícula inorgánica con piezoelectricidad y c) una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio.

6. Separador, según la reivindicación 4, **caracterizado por que** la segunda partícula inorgánica se selecciona entre, como mínimo, una de a) una partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más, b) una partícula inorgánica con piezoelectricidad y c) una partícula inorgánica con conductividad de iones de litio.

7. Separador, según la reivindicación 5, **caracterizado por que** la partícula inorgánica que tiene una constante dieléctrica de 5 o más se selecciona entre uno o más de SrTiO_3 , SnO_2 , CeO_2 , MgO , NiO , CaO , ZnO , ZrO_2 , Y_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , boehmita, hidróxido de magnesio y SiC .

la partícula inorgánica con propiedad piezoeléctrica se selecciona entre uno o más de BaTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y\text{O}_3$ (PLZT), $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - PbTiO_3 (PMN-PT) y Hafnia (HfO_2); y la partícula inorgánica con conductividad de iones de litio se selecciona entre, como mínimo, uno de:

fosfato de litio (Li_3PO_4);
fosfato de litio y titanio $\text{Li}_x\text{Ti}_y(\text{PO}_4)_3$, en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 3$;
fosfato de litio, aluminio y titanio ($\text{Li}_x\text{Al}_y\text{Ti}_z(\text{PO}_4)_3$), en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 1$, $0 < z < 3$;
vidrio de tipo $(\text{LiAlTiP})_x\text{O}_y$, en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 13$;
titanato de litio y lantano ($\text{Li}_x\text{La}_y\text{TiO}_3$), en el que $0 < x < 2$, $0 < y < 3$;
tiofosfato de litio y germanio ($\text{Li}_x\text{Ge}_y\text{P}_z\text{S}_w$), en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$, $0 < w < 5$;
nitruro de litio (Li_xN_y), en el que $0 < x < 4$, $0 < y < 2$;
vidrio de tipo SiS_2 ($\text{Li}_x\text{Si}_y\text{S}_z$), en el que $0 < x < 3$, $0 < y < 2$, $0 < z < 4$; y
vidrio de tipo P_2S_5 ($\text{Li}_x\text{P}_y\text{S}_z$), en el que $0 < x < 3$, $0 < y < 3$, $0 < z < 7$.

8. Separador, según las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** la primera partícula inorgánica tiene

un diámetro promedio de partícula (Dv50) de 0,001 μm a 15 μm ; y la proporción en masa de la primera partícula inorgánica respecto a la sustancia que intercala y desintercala litio de manera reversible es de 0,1 a 16.

- 5 9. Separador, según la reivindicación 4, **caracterizado por que** la segunda partícula inorgánica tiene un diámetro promedio de partícula (Dv50) de 0,001 μm a 15 μm .
- 10 10. Separador, según la reivindicación 4, **caracterizado por que** la segunda capa de recubrimiento (3) incluye una segunda partícula inorgánica y un polímero, y el porcentaje en peso de las segundas partículas inorgánicas es del 40 % al 99 %, basado en el peso total de la segunda capa de recubrimiento. (3).
- 15 11. Separador, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el primer sustrato poroso (1) y el segundo sustrato poroso (1) son una película polimérica, una película polimérica multicapa o una tela no tejida formada por uno cualquiera o más de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno, poliftalaldehído fenildiamina, tereftalato de polibutileno, poliéster, poliacetal, poliamida, policarbonato, poliimida, polieterétercetona, poliarilétercetona, poliéterimida, poliamidoimida, polibencimidazol, polietersulfona, éter de polifenileno, copolímero de olefina cíclica, sulfuro de polifenileno y polietilenonaftaleno, en el que el polietileno se selecciona entre, como mínimo, un componente de polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y polietileno de peso molecular ultraelevado.
- 20 12. Separador, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el primer sustrato poroso (1) y el segundo sustrato poroso (1) tienen un diámetro de poro promedio de 0,001 μm a 10 μm , y el primer sustrato poroso (1) y el segundo sustrato poroso (1) tienen una porosidad del 5 % al 95 %.
- 25 13. Dispositivo electroquímico, que comprende:
un electrodo positivo;
un electrodo negativo; y
el separador, según cualquiera de las reivindicaciones 1-12.
- 30 14. Dispositivo electroquímico, según la reivindicación 13, en el que el dispositivo electroquímico es una batería de iones de litio y la batería de iones de litio incluye un conjunto de electrodos, siendo el conjunto de electrodos de tipo enrollado.

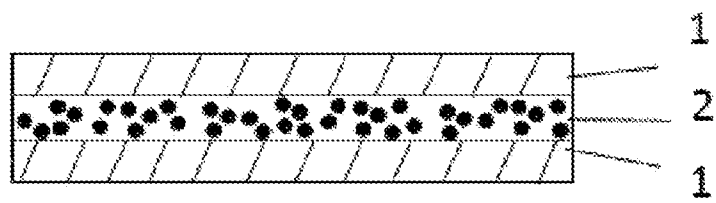


FIG. 1

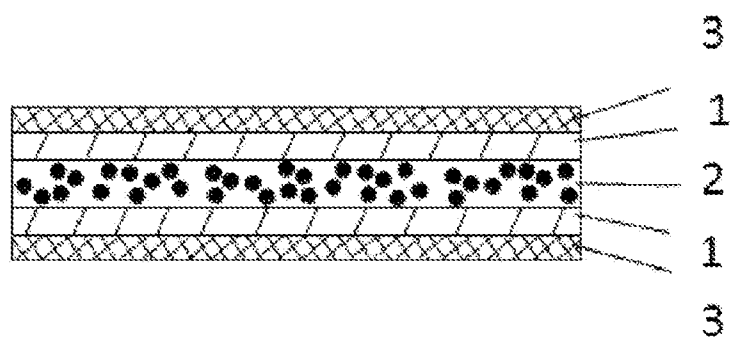


FIG. 2

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 2016141576 A1
- EP 2838137 A1
- US 2015263324 A1
- US 2014322586 A1
- CN 108448160 A