

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 190**

51 Int. Cl.:

H01M 4/587	(2010.01) H01G 11/50	(2013.01)
H01M 4/133	(2010.01) H01M 4/02	(2006.01)
H01M 10/0525	(2010.01)	
C01B 32/05	(2007.01)	
C01B 32/20	(2007.01)	
C01G 45/12	(2006.01)	
C01G 51/00	(2006.01)	
C01G 53/00	(2006.01)	
H01G 11/24	(2013.01)	
H01G 11/32	(2013.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.06.2020 PCT/CN2020/094385**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **09.12.2021 WO21243648**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2020 E 20938521 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024 EP 3968416**

54 Título: **Material activo de electrodo negativo, y dispositivo electroquímico y dispositivo electrónico que utiliza material activo de electrodo negativo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.10.2024

73 Titular/es:
**NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LTD. (100.0%)
No.1 Xingang Road, Zhangwan Town, Jiaocheng
District
Ningde City, Fujian 352100, CN**

72 Inventor/es:
**HE, LIHONG;
TANG, JIA;
DONG, JIALI y
XIE, YUANSEN**

74 Agente/Representante:
DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 981 190 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

Material activo de electrodo negativo, y dispositivo electroquímico y dispositivo electrónico que utiliza material activo de electrodo negativo

5

SECTOR TÉCNICO

La presente solicitud se refiere al sector del almacenamiento de energía y, en particular, a un material activo negativo, un dispositivo electroquímico que lo utiliza y un dispositivo electrónico.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

Los dispositivos electroquímicos (tales como una batería de iones de litio) se utilizan ampliamente debido a ventajas como el respeto al medio ambiente, un alto voltaje de funcionamiento, una alta capacidad específica y un ciclo de vida prolongado, y se han convertido en la nueva fuente de energía química verde más prometedora en el mundo a día de hoy. Generalmente se utiliza una batería de iones de litio de tamaño pequeño como fuente de alimentación para un dispositivo portátil de comunicaciones electrónicas (por ejemplo, una videocámara portátil, un teléfono móvil o un ordenador portátil), especialmente un dispositivo portátil de alto rendimiento. Se ha utilizado una batería de iones de litio de tamaño mediano y grande con características de alto rendimiento en un vehículo eléctrico (EV, por sus siglas en inglés) y en un sistema de almacenamiento de energía (ESS, por sus siglas en inglés) a gran escala. Debido a la amplia aplicación de la batería de iones de litio, un problema técnico clave que debe resolverse con urgencia es aumentar la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y la velocidad de rendimiento de la batería. Mejorar un material activo en una placa de electrodo es uno de los enfoques para resolver este problema.

15

20

25

El documento CN 109 553 085 A se refiere al sector de los materiales de carbono de electrodo negativo de baterías de iones de litio, en particular a un material activo de electrodo negativo de batería de iones de litio, un electrodo negativo de batería de iones de litio, una batería de iones de litio, un paquete de baterías y un vehículo propulsado por batería. En la estructura de los poros, medida a través de adsorción y desorción de N_2 , de las partículas de carbono del electrodo negativo de la batería de iones de litio, utilizando el volumen total de poros medido por BJH que tiene un tamaño de poro de 2-200 nm como referencia, el volumen de poros con un tamaño de poro de 2 a 10 nm representa del 5 al 10 %, el volumen de poros con un tamaño de poro de 10 a 100 nm representa del 50 al 65 %, el volumen de poros con un tamaño de poro de 100 a 200 nm representa del 30 al 40 %, y las partículas de carbono tienen un área superficial específica BET de 1-4 m^2/g . Una pila de botón fabricada de partículas de carbono tiene una capacidad de carga de 392-403,65 mAh/g y una capacidad de descarga de 360-373 mAh/g, y la capacidad de descarga a una velocidad de 5C se mantiene en 1985,7-2029,8 mAh después de fabricar el electrodo negativo de las partículas de carbono se ensambla en la batería de columnas.

30

35

40

En vista a lo anterior, es necesario dar a conocer un material activo negativo mejorado, un dispositivo electroquímico que lo utilice y un dispositivo electrónico.

CARACTERÍSTICAS

45

Las realizaciones de la presente solicitud dan a conocer un material activo negativo, un dispositivo electroquímico que lo utiliza y un dispositivo electrónico para resolver al menos un problema del estado de la técnica relacionada al menos en cierta medida.

50

La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas. Según un aspecto de la presente solicitud, la presente solicitud da a conocer un material activo negativo. El material activo negativo incluye un material de carbono. El material de carbono satisface la siguiente relación: $6 < Gr/K < 16$, donde Gr es un grado de grafitización del material de carbono, medido mediante difracción de rayos X. K es una relación I_d/I_g de una intensidad máxima I_d del material de carbono con un número de onda de 1250 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} a una intensidad máxima I_g del material de carbono con un número de onda de 1500 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} , y se mide usando espectroscopía Raman y K es de 0,06 a 0,15. El material de carbono satisface $La/S > 20$, donde La es el tamaño de un cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal medido mediante difracción de rayos X, y se mide en unidades de nm. S es una relación entre un área de pico C004 de una superficie (004) y un área de pico C110 de una superficie (110) del material activo negativo medida usando un patrón de difracción de rayos X, y La es mayor que 50.

55

60

En algunas realizaciones, el material de carbono satisface la siguiente relación: $8 < Gr/K < 15$. En algunas realizaciones, el material de carbono satisface la siguiente relación: $10 < Gr/K < 12$. En algunas realizaciones, un valor de relación Gr/K del material de carbono es 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

65

En algunas realizaciones, la K del material de carbono es de 0,08 a 0,10. En algunas realizaciones, la K del

ES 2 981 190 T3

material de carbono es 0,06, 0,07, 0,08, 0,09, 0,10, 0,11, 0,12, 0,13, 0,14, 0,15 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

5 Según una realización de la presente solicitud, el grado de grafitización Gr del material de carbono es de 0,92 a 0,96. En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr del material de carbono es 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

Según una realización de la presente solicitud, el material de carbono satisface la siguiente relación:

10
$$Lc/S < 9;$$

donde Lc es el tamaño de un cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical medido mediante difracción de rayos X, y se mide en unidades de nm;

15 S es una relación entre un área de pico C004 de una superficie (004) y un área de pico C110 de una superficie (110) del material activo negativo medida usando un patrón de difracción de rayos X; y Lc es menor que 45.

20 En algunas realizaciones, $Lc/S < 8$. En algunas realizaciones, $Lc/S < 7$. En algunas realizaciones, $Lc/S < 6$. En algunas realizaciones, $Lc/S > 2$. En algunas realizaciones, $Lc/S > 3$. En algunas realizaciones, Lc/S es 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

25 En algunas realizaciones, $La/S > 22$. En algunas realizaciones, $La/S > 25$. En algunas realizaciones, $La/S > 28$. En algunas realizaciones, $La/S > 30$. En algunas realizaciones, $La/S < 60$. En algunas realizaciones, $La/S < 55$. En algunas realizaciones, $La/S < 50$. En algunas realizaciones, La/S es 22, 25, 28, 30, 35, 40, 45, 50 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

30 En algunas realizaciones, Lc es inferior a 40. En algunas realizaciones, Lc es inferior a 35. En algunas realizaciones, Lc es inferior a 30. En algunas realizaciones, Lc es inferior a 25. En algunas realizaciones, Lc es mayor que 10. En algunas realizaciones, Lc es mayor que 15. En algunas realizaciones, Lc es mayor que 20. En algunas realizaciones, Lc es 20, 22, 25, 28, 30, 35, 40, 43 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

35 En algunas realizaciones, La es mayor que 60. En algunas realizaciones, La es mayor que 80. En algunas realizaciones, La es mayor que 100. En algunas realizaciones, La es mayor que 110. En algunas realizaciones, La es mayor que 120. En algunas realizaciones, La es mayor que 130. En algunas realizaciones, La es mayor que 150. En algunas realizaciones, La es mayor que 180. En algunas realizaciones, La es mayor que 200. En algunas realizaciones, La es mayor que 220. En algunas realizaciones, La es inferior a 300. En algunas realizaciones, La es inferior a 250. En algunas realizaciones, Lc es 55, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, 200, 230, 250, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

45 Según una realización de la presente solicitud, un valor Dv10 y un valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 23,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 25,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 28,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 30,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 50,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 45,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 40,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 35,0$. En algunas realizaciones, un valor de $(Dv90/Dv10 + Dv90)$ del material activo negativo es 24, 26, 28, 30, 33, 35 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. En la expresión relacional anterior, las unidades de Dv90 y Dv10 son μm .

60 Según otro aspecto de la presente solicitud, la presente solicitud da a conocer un dispositivo electroquímico, que incluye un electrodo positivo, una solución electrolítica y un electrodo negativo. El electrodo negativo incluye una capa de material activo negativo y un colector de corriente negativo. La capa de material activo negativo incluye el material activo negativo según la presente solicitud.

65 Según una realización de la presente solicitud, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de $0,077 \text{ mg/mm}^2$ a $0,121 \text{ mg/mm}^2$, y la densidad compactada de la capa de material activo negativo es de $1,70 \text{ g/cm}^3$ a $1,92 \text{ g/cm}^3$.

- 5 En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,080 mg/cm² a 0,120 mg/cm². En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,085 mg/cm² a 0,110 mg/cm². En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,090 mg/cm² a 0,100 mg/cm². En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es 0,077 mg/mm², 0,080 mg/mm², 0,085 mg/mm², 0,090 mg/mm², 0,095 mg/mm², 0,100 mg/mm², 0,105 mg/mm², 110 mg/mm², 0,115 mg/mm², 0,120 mg/mm², 0,121 mg/mm², o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.
- 10 En algunas realizaciones, la densidad compactada de la capa de material activo negativo es de 1,75 g/cm³ a 1,90 g/cm³. En algunas realizaciones, la densidad compactada de la capa de material activo negativo es de 1,80 g/cm³ a 1,85 g/cm³. En algunas realizaciones, la densidad compactada de la capa de material activo negativo es 1,70 g/cm³, 1,75 g/cm³, 1,78 g/cm³, 1,80 g/cm³, 1,85 g/cm³, 1,85 g/cm³, 1,88 g/cm³, 1,90 g/cm³, 1,92 g/cm³, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.
- 15 Según una realización de la presente solicitud, en un estado completamente descargado, medido usando un patrón de difracción de rayos X, una relación S' de un área de pico C004' de una superficie (004) a un área de pico C110' de (110) la superficie de la capa de material activo negativo está dentro de un rango de 10 a 20. En algunas realizaciones, en un estado completamente descargado, medido usando un patrón de difracción de rayos X, S' de la capa de material activo negativo está dentro de un rango de 12 a 18. En algunas realizaciones, en un estado completamente descargado, medido usando un patrón de difracción de rayos X, S' de la capa de material activo negativo está dentro de un rango de 14 a 16. En algunas realizaciones, en un estado completamente descargado, medido usando un patrón de difracción de rayos X, S' de la capa de material activo negativo es 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.
- 20
- 25 Según una realización de la presente solicitud, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 6 N/m a 15 N/m. En algunas realizaciones, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 8 N/m a 14 N/m. En algunas realizaciones, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 10 N/m a 12 N/m. En algunas realizaciones, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es 6 N/m, 7 N/m, 8 N/m, 9 N/m, 10 N/m, 11 N/m, 12 N/m, 13 N/m, 14 N/m, 15 N/m, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.
- 30
- 35 Según una realización de la presente solicitud, la porosidad de la capa de material activo negativo es del 20 % al 40 %. En algunas realizaciones, la porosidad de la capa de material activo negativo es del 25 % al 35 %. En algunas realizaciones, la porosidad de la capa de material activo negativo es del 28 % al 32 %. En algunas realizaciones, la porosidad de la capa de material activo negativo es 20 %, 22 %, 25 %, 28 %, 30 %, 32 %, 35 %, 38 %, 40 %, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.
- 40
- 45 Según una realización de la presente solicitud, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 280 °C. En algunas realizaciones, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 300 °C. En algunas realizaciones, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 320°C. En algunas realizaciones, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 340 °C.
- 50
- 55 Según una realización de la presente solicitud, en un estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 130 °C. En algunas realizaciones, en el estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 140 °C. En algunas realizaciones, en el estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 150 °C. En algunas realizaciones, en el estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 160 °C.
- 60 Según un aspecto de la presente solicitud, la presente solicitud da a conocer un dispositivo electrónico, que incluye el dispositivo electroquímico según la presente solicitud.
- 65 Aspectos y ventajas adicionales de la presente solicitud serán descritos o ilustrados en parte más adelante en el presente documento o serán expuestos mediante la implementación de las realizaciones de la presente solicitud.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para facilitar la descripción de las realizaciones de la presente solicitud, a continuación se describen las figuras necesarias para describir las realizaciones de la presente solicitud o del estado de la técnica anterior. Aparentemente, las figuras que se describen a continuación son simplemente una parte de las realizaciones de la presente solicitud. Sin realizar ningún esfuerzo creativo, un experto en la materia aún puede obtener las figuras de otras realizaciones según las estructuras ilustradas en estas figuras.

5

10

15

20

25

30

La FIGURA 1 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) de un material activo negativo usado en la realización comparativa 2 con un aumento de 500x;

La FIGURA 2 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) de un material activo negativo usado en la realización 5 con un aumento de 500x;

La FIGURA 3 muestra una fotografía de un exterior del material activo negativo usado en la realización 5 en el que no se produce recubrimiento de litio después del ciclo;

La FIGURA 4 muestra una fotografía de un exterior del material activo negativo usado en la realización comparativa 1 en el que se produce el recubrimiento de litio después del ciclo;

La FIGURA 5 muestra una fotografía de un exterior del material activo negativo usado en la comparativa 2 en el que se produce un intenso recubrimiento de litio después del ciclo;

La FIGURA 6 muestra una curva de una tasa de retención de capacidad de ciclo de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 25 °C;

La FIGURA 7 muestra una curva de una tasa de retención de capacidad de ciclo de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 45 °C;

La FIGURA 8 muestra una curva de una tasa de expansión de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 25 °C; y

La FIGURA 9 muestra una curva de una tasa de expansión de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 45 °C.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES

35

Las realizaciones de la presente solicitud se describirán en detalle a continuación. En la descripción de la presente solicitud, los componentes idénticos o similares y los componentes que tienen funciones idénticas o similares están representados por números de referencia similares. Las realizaciones descritas en el presente documento con referencia a las figuras adjuntas son de naturaleza ilustrativa y gráfica y están destinadas a permitir una comprensión básica de la presente solicitud. Las realizaciones de la presente solicitud no deben interpretarse como una limitación de la presente solicitud.

40

45

En la descripción detallada de realizaciones y reivindicaciones, una lista de elementos a los que se hace referencia utilizando términos como "al menos uno de" puede significar cualquier combinación de los elementos enumerados. Por ejemplo, si se enumeran los elementos A y B, las frases "al menos uno de A y B" y "al menos uno de A o B" significan: A solo; B solo; o tanto A como B. En otro ejemplo, si se enumeran los elementos A, B y C, las frases "al menos uno de A, B y C" y "al menos uno de A, B o C" significan: A solo; B solo; C solo; A y B (excluyendo C); A y C (excluyendo B); B y C (excluyendo A); o todos A, B y C. El elemento A puede incluir un único elemento o una pluralidad de elementos. El elemento B puede incluir un único elemento o una pluralidad de elementos. El elemento C puede incluir un único elemento o una pluralidad de elementos.

50

55

La amplia aplicación de dispositivos electroquímicos (como una batería de iones de litio) va acompañada de requisitos más exigentes en cuanto al rendimiento de dichos dispositivos. La densidad de energía, el rendimiento del ciclo y la velocidad son indicadores importantes del rendimiento de las baterías de iones de litio. Hasta el momento, no se ha desarrollado ningún medio eficaz para mejorar simultáneamente la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y la velocidad de funcionamiento de las baterías de iones de litio.

60

La presente solicitud resuelve este problema optimizando un material activo negativo. Específicamente, la presente solicitud da a conocer un material activo negativo. El material activo negativo incluye un material de carbono. El material de carbono satisface la siguiente relación: $6 < Gr/K < 16$, donde Gr es un grado de grafitización del material de carbono, medido mediante difracción de rayos X. K es una relación I_d/I_g de una intensidad máxima I_d del material de carbono en un número de onda de 1250 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} a una intensidad máxima I_g del material de carbono en un número de onda de 1500 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} , y se mide usando espectroscopia Raman, y K es de 0,06 a 0,15.

65

En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr y el valor K del material de carbono satisfacen la siguiente relación: $8 < Gr/K < 15$. En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr y el valor K del

material de carbono satisfacen la siguiente relación: $10 < Gr/K < 12$. En algunas realizaciones, una relación Gr/K del grado de grafitización Gr a K del material de carbono es 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

5

En algunas realizaciones, la K del material de carbono es de 0,08 a 0,10. En algunas realizaciones, la K del material de carbono es 0,06, 0,07, 0,08, 0,09, 0,10, 0,11, 0,12, 0,13, 0,14, 0,15 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

10

La K del material de carbono puede representar una relación entre un defecto superficial y una región cristalina del material. La K puede determinarse mediante espectroscopía Raman: aplicando una fuente de luz de 523 nm (a una intensidad de sombreado del 5 %), seleccionando 100 puntos de muestra en una región de $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$, calculando una relación de intensidad máxima I_d del material de carbono en un número de onda de 1250 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} a una intensidad máxima I_g del material de carbono en un número de onda de 1500 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} , y utilizando un valor promedio de las relaciones como un valor K del material de carbono.

15

20

El "Grado de grafitización" del material de carbono significa el grado en el que el carbono no grafito se transforma en carbono similar al grafito cuando el material de carbono se somete a una temperatura alta o se somete a un calentamiento secundario. El grado de grafitización del material de carbono se puede medir mediante el siguiente método: utilizando polvo de silicio de alta pureza como sustancia estándar interna para la calibración, probando un espaciado interplanar (d002) de una superficie 002 del material de carbono mediante difracción de rayos X, y calcular el grado de grafitización Gr del material de carbono según la siguiente fórmula: $Gr = (0,344 - d002)/0,086 \times 100 \%$.

25

30

El grado de grafitización y el valor K del material de carbono en el material activo negativo afectan la inserción y extracción de iones de litio. Por ejemplo, en un proceso de descarga de una batería de iones de litio, los iones de litio se mueven hacia un electrodo negativo. El electrodo negativo recibe los iones de litio. El grado de grafitización y el valor K del material de carbono afectan la velocidad a la que los iones de litio se insertan en las partículas del material de carbono. Cuando la batería de iones de litio se descarga a una velocidad alta, si los iones de litio no pueden insertarse rápidamente en las partículas del material de carbono o difundirse dentro de las partículas, los iones de litio precipitarán en una superficie, acelerando así la degradación del ciclo de la batería de iones de litio. En el proceso de carga de una batería de iones de litio, los iones de litio se extraen de un electrodo negativo. Si los iones de litio no se pueden extraer rápidamente del electrodo negativo, los iones de litio generarán litio muerto dentro de las partículas del material de carbono, acelerando también la degradación del ciclo de la batería de iones de litio. El grado de grafitización y el valor K del material de carbono también afectarán el espesor de una película de interfaz de electrolito sólido (SEI, por sus siglas en inglés) formada durante un primer ciclo de la batería de iones de litio, afectando así la eficiencia coulombica del primer ciclo de la batería de iones de litio y afectando así a la densidad de energía de la batería de iones de litio.

40

45

Cuando el material de carbono tiene un alto grado de grafitización (por ejemplo, $Gr > 0,96$), el espaciado interplanar del material de carbono disminuye, afectando así negativamente a la extracción de los iones de litio del material de carbono. Cuando el material de carbono tiene un grado de grafitización relativamente bajo (por ejemplo, $Gr < 0,92$), existe una cantidad relativamente grande de enlaces SP^3 en el material de carbono. De esta manera, las capas del material de carbono se restringen entre sí y la estructura del material de carbono es más estable.

50

Cuando se encuentra dentro del rango anterior, el grado de grafitización Gr del material de carbono y la relación Gr/K del grado de grafitización con respecto a K del material de carbono mejoran significativamente la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y el rendimiento de velocidad del ion-litio batería.

55

Según una realización de la presente solicitud, el grado de grafitización Gr del material de carbono es de 0,92 a 0,96. En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr del material de carbono es 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. Cuando se encuentra en el rango anterior, el grado de grafitización del material de carbono ayuda a mejorar aún más la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y la velocidad de rendimiento de la batería de iones de litio.

60

Según la presente invención, el material de carbono satisface la siguiente relación: $La/S > 20$ y La es mayor que 50. Según una realización de la presente solicitud, el material de carbono satisface la siguiente relación:

$$Lc/S < 9;$$

donde

65

La es el tamaño de un cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal medido mediante

difracción de rayos X, y se mide en unidades de nm;

Lc es el tamaño de un cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical medido mediante difracción de rayos X, y se mide en unidades de nm;

5 S es una relación entre un área de pico C004 de una superficie (004) y un área de pico C110 de una superficie (110) del material activo negativo medida usando un patrón de difracción de rayos X; y
Lc es menor que 45.

10 En algunas realizaciones, $Lc/S < 8$. En algunas realizaciones, $Lc/S < 7$. En algunas realizaciones, $Lc/S < 6$. En algunas realizaciones, $Lc/S > 2$. En algunas realizaciones, $Lc/S > 3$. En algunas realizaciones, Lc/S es 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

15 En algunas realizaciones, $La/S > 22$. En algunas realizaciones, $La/S > 25$. En algunas realizaciones, $La/S > 28$. En algunas realizaciones, $La/S > 30$. En algunas realizaciones, $La/S < 60$. En algunas realizaciones, $La/S < 55$. En algunas realizaciones, $La/S < 50$. En algunas realizaciones, La/S es 22, 25, 28, 30, 35, 40, 45, 50 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

20 En algunas realizaciones, Lc es inferior a 40. En algunas realizaciones, Lc es inferior a 35. En algunas realizaciones, Lc es inferior a 30. En algunas realizaciones, Lc es inferior a 25. En algunas realizaciones, Lc es mayor que 10. En algunas realizaciones, Lc es mayor que 15. En algunas realizaciones, Lc es mayor que 20. En algunas realizaciones, Lc es 20, 22, 25, 28, 30, 35, 40, 43 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

25 En algunas realizaciones, La es mayor que 60. En algunas realizaciones, La es mayor que 80. En algunas realizaciones, La es mayor que 100. En algunas realizaciones, La es mayor que 110. En algunas realizaciones, La es mayor que 120. En algunas realizaciones, La es mayor que 130. En algunas realizaciones, La es mayor que 150. En algunas realizaciones, La es mayor que 180. En algunas realizaciones, La es mayor que 200. En algunas realizaciones, La es mayor que 220. En algunas realizaciones, La es inferior a 300. En algunas realizaciones, La es inferior a 250. En algunas realizaciones, Lc es 55, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, 200, 230, 250, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

35 El tamaño del cristal del material de carbono afecta la inserción y extracción de los iones de litio durante los ciclos. Según un patrón de difracción de rayos X, una relación S de un área de pico C004 de una superficie (004) a un área de pico C110 de una superficie (110) del material activo negativo representa un grado de orientación del material activo negativo. Cuanto mayor sea el valor S, más anisotrópico será el material activo negativo. Cuanto menor sea el valor S, más isotrópico será el material activo negativo. Cuando se encuentra en el rango anterior, el tamaño del cristal del material de carbono y la relación del tamaño del cristal con el grado de orientación del material de carbono ayudan a mejorar aún más la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y el rendimiento de la velocidad la batería de iones de litio.

45 Según una realización de la presente solicitud, un valor Dv10 y un valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 23,0$, y las unidades de Dv90 y Dv10 son μm . "Dv90" representa un tamaño de partícula del material activo negativo en un volumen acumulativo del 90 % en la distribución de tamaño de partícula basada en volumen medida partiendo de tamaños de partícula pequeños, es decir, un tamaño de partícula medido cuando un volumen de partículas del El material activo negativo que es más pequeño que el tamaño de partícula representa el 90 % del volumen total del material activo negativo. "Dv10" representa un tamaño de partícula del material activo negativo en un volumen acumulativo del 10 % en la distribución de tamaño de partícula basada en volumen medida partiendo de tamaños de partícula pequeños, es decir, un tamaño de partícula medido cuando un volumen de partículas del El material activo negativo que es más pequeño que el tamaño de partícula representa el 10 % del volumen total del material activo negativo. El tamaño de partícula del material activo negativo se puede medir usando un analizador de tamaño de partículas (tal como un analizador de tamaño de partículas Malvern).

55 En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 25,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 28,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 > 30,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 50,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 45,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 40,0$. En algunas realizaciones, el valor Dv10 y el valor Dv90 del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Dv90/Dv10 + Dv90 < 35,0$. En algunas realizaciones, un valor $(Dv90/Dv10 + Dv90)$ del material activo negativo es 24, 26, 28, 30, 33, 35 o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. En la expresión relacional anterior, las unidades de Dv90 y Dv10 son μm .

5 Cuando el tamaño de partícula del material activo negativo es mayor, el área superficial específica del material activo negativo es menor. Por lo tanto, al consumir solo una pequeña cantidad de iones de litio durante el primer ciclo, la batería de iones de litio puede formar una película de interfaz de electrolito sólido (SEI, por sus siglas en inglés) con una solución electrolítica, mejorando así la eficiencia coulombica del primer ciclo de la batería de iones de litio. Los tamaños de partículas más grandes también prolongan la trayectoria de inserción y extracción de los iones de litio, reduciendo así el rendimiento cinético de la batería de iones de litio. Además, los tamaños de partículas más grandes afectan negativamente a la expansión del ciclo de la batería de iones de litio. Por el contrario, cuando el tamaño de partícula del material activo negativo es menor, el área superficial específica del material activo negativo es mayor. Por lo tanto, la batería de iones de litio necesita consumir una gran cantidad de iones de litio para formar la película SEI con la solución electrolítica durante el primer ciclo, reduciendo así la eficiencia coulombica del primer ciclo de la batería de iones de litio. Los tamaños de partículas más pequeños también acortan la trayectoria de inserción y extracción de los iones de litio, afectando así el rendimiento cinético de la batería de iones de litio. Además, los tamaños de partículas más pequeños afectan negativamente a la expansión del ciclo de la batería de iones de litio. Cuando se satisface la relación anterior, Dv90 y Dv10 del material activo negativo ayudan a equilibrar varios indicadores de rendimiento de la batería de iones de litio y mejoran aún más la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y la velocidad de rendimiento de la batería de iones de litio.

20 La presente solicitud da a conocer además un dispositivo electroquímico, que incluye un electrodo positivo, un electrodo negativo, un separador y una solución electrolítica. A continuación se describen el electrodo positivo, el electrodo negativo, el separador y la solución electrolítica que son aplicables a la presente solicitud.

25 **Electrodo negativo**

Un electrodo negativo aplicable a un dispositivo electroquímico según la presente solicitud incluye un colector de corriente negativo y una capa de material activo negativo. La capa de material activo negativo incluye un material activo negativo según la presente solicitud.

30 Según una realización de la presente solicitud, una densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,077 mg/mm² a 0,121 mg/mm², y una densidad compactada de la capa de material activo negativo es de 1,70 g/cm³ a 1,92 g/cm³.

35 En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,080 mg/cm² a 0,120 mg/cm². En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,085 mg/cm² a 0,110 mg/cm². En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es de 0,090 mg/cm² a 0,100 mg/cm². En algunas realizaciones, la densidad de área de la capa de material activo negativo es 0,077 mg/mm², 0,080 mg/mm², 0,085 mg/mm², 0,090 mg/mm², 0,095 mg/mm², 0,100 mg/mm², 0,105 mg/mm², 110 mg/mm², 0,115 mg/mm², 0,120 mg/mm², 0,121 mg/mm², o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. La densidad de área de la capa de material activo negativo se puede obtener utilizando el siguiente método de prueba: descargar la batería al 0 % del estado de carga (SOC, por sus siglas en inglés), desmontar la batería, lavar y secar la batería, y pesar un trozo de electrodo negativo utilizando una balanza electrónica (ambos lados del colector de corriente negativo están recubiertos con la capa de material activo negativo), donde el área de la pieza de electrodo negativo se indica como A y el peso se indica como W₁; lavar la capa de material activo negativo usando un disolvente; y secar y medir el peso del colector de corriente negativo, denominado W₂; y calcular la densidad de área de la capa de material activo negativo según la siguiente fórmula: densidad de área = (W₁ - W₂)/(A × 2).

50 En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo negativo es de 1,75 g/cm³ a 1,90 g/cm³. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo negativo es de 1,80 g/cm³ a 1,85 g/cm³. En algunas realizaciones, la densidad compactada de la capa de material activo negativo es 1,70 g/cm³, 1,75 g/cm³, 1,78 g/cm³, 1,80 g/cm³, 1,85 g/cm³, 1,85 g/cm³, 1,88 g/cm³, 1,90 g/cm³, 1,92 g/cm³, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. La densidad compactada de la capa de material activo negativo se puede obtener utilizando el siguiente método de prueba: descargar la batería al 0 % de SOC, desmontar la batería, lavar y secar la batería y pesar un trozo de electrodo negativo usando una balanza electrónica (ambos lados del colector de corriente negativo están recubiertos con la capa de material activo negativo), donde el área de la pieza de electrodo negativo se indica como A y el peso se indica como W₁; y medir el espesor T₁ del electrodo negativo usando un micrómetro; lavar la capa de material activo negativo utilizando un disolvente, secar el colector de corriente negativo, medir el peso del colector de corriente negativo, denominado W₂, y medir el espesor del colector de corriente negativo utilizando un micrómetro, denominado T₂; y calcular el peso W₀ y el espesor T₀ de la capa de material activo negativo ubicada en un lado del colector de corriente negativo, y la densidad compactada de la capa de material activo negativo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$W_0 = W_1 - W_2 / 2$$

ES 2 981 190 T3

$$T_0 = T_1 - T_2 / 2$$

$$\text{Densidad compactada} = W_0 / T_0 \times A.$$

5 Según una realización de la presente solicitud, en un estado completamente descargado, medido mediante un patrón de difracción de rayos X, una relación S' de un área de pico C004' de una superficie (004) a un área de pico C110' de una (110) la superficie de la capa de material activo negativo está dentro de un rango de 10 a 20. En algunas realizaciones, en un estado completamente descargado, medido mediante un patrón de difracción de rayos X, S' de la capa de material activo negativo está dentro de un rango de 12 a 18. En algunas realizaciones, en un estado completamente descargado, medido mediante un patrón de difracción de rayos X, S' de la capa de material activo negativo está dentro de un rango de 14 a 16. En algunas realizaciones, en un estado completamente descargado, medido mediante un patrón de difracción de rayos X, S' de la capa de material activo negativo es 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. S' puede representar el grado de orientación de la capa de material activo negativo. Cuanto mayor sea el valor de S', más anisotrópica será la capa de material activo negativo. Cuanto menor sea el valor de S', más isotrópica será la capa de material activo negativo.

20 Según una realización de la presente solicitud, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 6 N/m a 15 N/m. En algunas realizaciones, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 8 N/m a 14 N/m. En algunas realizaciones, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 10 N/m a 12 N/m. En algunas realizaciones, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es 6 N/m, 7 N/m, 8 N/m, 9 N/m, 10 N/m, 11 N/m, 12 N/m, 13 N/m, 14 N/m, 15 N/m, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos.

25 La resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo se puede obtener realizando una prueba de tracción. El método de prueba es: probar la unión entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo usando un probador Instron (modelo: 33652), específicamente, tomando una longitud de 15 a 20 mm de un electrodo negativo, fijar la pieza de electrodo negativo sobre una lámina de acero usando una cinta de doble cara de 3M y pegar la cinta en la superficie de la capa de material activo negativo, donde un extremo de la cinta de doble cara está conectado a una cinta de papel cuyo ancho es igual al de la cinta de doble cara; ajustar un tope de un probador de tracción a una posición adecuada, doblar la cinta de papel hacia arriba y deslizar la cinta de papel 40 mm a una velocidad de deslizamiento de 50 mm/min; y probar (es decir, tirar del material en dirección opuesta) la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo a una temperatura de 180 °C.

40 Según una realización de la presente solicitud, la porosidad de la capa de material activo negativo es del 20 % al 40 %. En algunas realizaciones, la porosidad de la capa de material activo negativo es del 25 % al 35 %. En algunas realizaciones, la porosidad de la capa de material activo negativo es del 28 % al 32 %. En algunas realizaciones, la porosidad de la capa de material activo negativo es 20 %, 22 %, 25 %, 28 %, 30 %, 32 %, 35 %, 38 %, 40 %, o dentro de un rango formado por dos cualesquiera de los mismos. La porosidad de la capa de material activo negativo se puede obtener según el estándar *Iron ores-Determination of Apparent Density, True Density And Porosity, GB/T24586-2009*

45 Cuando la densidad de área de la capa de material activo negativo es constante, la disminución de la densidad compactada de la capa de material activo negativo reduce la anisotropía y la porosidad de la capa de material activo negativo, y reduce la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo. Cuando la densidad compactada de la capa de material activo negativo es constante, la disminución de la densidad de área de la capa de material activo negativo aumenta la anisotropía de la capa de material activo negativo, reduce la porosidad de la capa de material activo negativo y reduce el despegue. Fuerza entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo. Cuando se encuentran en los rangos anteriores, la densidad superficial, la densidad compactada y la porosidad de la capa de material activo negativo y/o la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo ayudan a mejorar aún más la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y la velocidad de rendimiento de la batería de iones de litio.

60 Según una realización de la presente solicitud, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 280 °C. En algunas realizaciones, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 300 °C. En algunas realizaciones, en un estado completamente cargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 320 °C. En algunas realizaciones, en un estado completamente cargado del dispositivo

electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 340 °C. Cuando el dispositivo electroquímico está completamente cargado, los iones de litio se insertan en las vacantes del material activo negativo. En este momento, una temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo puede representar un grado de envejecimiento a alta temperatura del electrodo negativo. Específicamente, cuanto mayor sea la temperatura de descomposición del material activo negativo, menor será el grado de envejecimiento a alta temperatura y mayor será el rendimiento del ciclo de alta temperatura de la batería de iones de litio.

Según una realización de la presente solicitud, en un estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 130 °C. En algunas realizaciones, en el estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 140 °C. En algunas realizaciones, en el estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 150 °C. En algunas realizaciones, en el estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 160 °C. Cuando el dispositivo electroquímico está completamente descargado, todos los iones de litio se extraen del electrodo negativo. La temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo puede representar indirectamente la estabilidad de la película SEI. Específicamente, cuanto mayor sea la temperatura de descomposición del material activo negativo, mayor será la estabilidad térmica de la película SEI, menos iones de litio se necesitarán para reparar la película SEI durante los ciclos de la batería de iones de litio y mayor será el rendimiento del ciclo de la batería de iones de litio.

La temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo se puede medir usando calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés). Específicamente, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo que va a ser probada se mide usando un calorímetro diferencial de barrido cuando la capa de material activo negativo se calienta de 0 °C a 800 °C a una velocidad de calentamiento constante.

El colector de corriente negativa utilizado en la presente solicitud se puede seleccionar entre una lámina de cobre, una lámina de níquel, una lámina de acero inoxidable, una lámina de titanio, níquel espumado, cobre espumado, un sustrato polimérico recubierto con un metal conductor o cualquier combinación de los mismos.

Según una realización de la presente solicitud, el electrodo negativo incluye además una capa conductora. En algunas soluciones de realización, un material conductor de la capa conductora puede incluir cualquier material conductor que no cause un cambio químico. Los ejemplos del material conductor incluyen, entre otros: un material a base de carbono (por ejemplo, grafito natural, grafito artificial, negro de carbón, negro de acetileno, negro de Ketjen, fibra de carbono, nanotubos de carbono y grafeno), un material a base de metal (por ejemplo, polvo metálico, fibra metálica, incluyendo cobre, níquel, aluminio, plata y similares), un polímero conductor (por ejemplo, un derivado de polifenileno), o cualquier mezcla de los mismos.

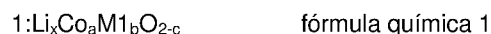
Según una realización de la presente solicitud, el electrodo negativo incluye además un aglutinante. El aglutinante se selecciona de al menos uno de los siguientes: alcohol polivinílico, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, diacetilcelulosa, cloruro de polivinilo, cloruro de polivinilo carboxilado, fluoruro de polivinilo, un polímero que contiene óxido de etileno, polivinilpirrolidona, poliuretano, politetrafluoroetileno, poli(1,1-difluoroetileno), polietileno, polipropileno, caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrílico, resina epoxi, nailon o similares.

Electrodo positivo

El electrodo positivo incluye un colector de corriente positivo y un material activo positivo dispuesto sobre el colector de corriente positivo. Los tipos específicos de material activo positivo no están limitados y pueden seleccionarse según las necesidades.

En algunas soluciones de realización, el material activo positivo incluye un material de electrodo positivo capaz de absorber y liberar litio (Li). Ejemplos de material activo positivo capaz de absorber o liberar litio (Li) pueden incluir óxido de litio y cobalto, óxido de litio-níquel-cobalto-manganeso, óxido de litio-níquel-cobalto-aluminio, óxido de litio-manganeso, fosfato de litio-hierro-manganeso, fosfato de litio-vanadio, fosfato de litio-vanadilo fosfato de litio-hierro, óxido de litio-titanio y materiales a base de manganeso ricos en litio.

Específicamente, la fórmula química del óxido de litio y cobalto puede ser la fórmula química



donde M1 es al menos uno seleccionado entre níquel (Ni), manganeso (Mn), magnesio (Mg), aluminio (Al),

ES 2 981 190 T3

boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), estaño (Sn), calcio (Ca), estroncio (Sr), tungsteno (W), itrio (Y), lantano (La), circonio (Zr) y silicio (Si), y los valores de x, a, b y c están en los siguientes rangos: $0,8 \leq x \leq 1,2$, $0,8 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 0,2$, $-0,1 \leq c \leq 0,2$, respectivamente.

- 5 La fórmula química del óxido de litio-níquel-cobalto-manganeso u óxido de litio-níquel-cobalto- aluminio puede ser la fórmula química 2:



- 10 donde, M2 es al menos uno seleccionado entre 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), tungsteno (W), circonio (Zr) y silicio (Si), y los valores de y, d, e y f están en los siguientes rangos: $0,8 \leq y \leq 1,2$, $0,3 \leq d \leq 0,98$, $0,02 \leq e \leq 0,7$, $-0,1 \leq f \leq 0,2$, respectivamente.

- 15 La fórmula química del óxido de litio y manganeso puede ser la fórmula química 3:



- 20 donde, M3 es al menos uno seleccionado entre 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 tungsteno (W), y los valores de z, g y h están en los siguientes rangos: $0,8 \leq z \leq 1,2$, $0 \leq g < 1,0$ y $-0,2 \leq h \leq 0,2$, respectivamente.

- 25 En algunas realizaciones, el peso de la capa de material activo positivo es de 1,5 a 15 veces el peso de la capa de material activo negativo. En algunas realizaciones, el peso de la capa de material activo positivo es de 3 a 10 veces el peso de la capa de material activo negativo. En algunas realizaciones, el peso de la capa de material activo positivo es de 5 a 8 veces el peso de la capa de material activo negativo. En algunas realizaciones, el peso de la capa de material activo positivo es 1,5 veces, 2 veces, 3 veces, 4 veces, 5 veces, 6 veces, 7 veces, 8 veces, 9 veces, 10 veces, 11 veces, 12 veces, 13 veces, 14 veces o 15 veces el peso de la capa de material activo negativo.

- 30 En algunas realizaciones, la capa de material activo positivo puede tener un recubrimiento en su superficie o puede mezclarse con otro compuesto que tenga un recubrimiento. El recubrimiento puede incluir al menos un compuesto de un elemento de recubrimiento, que se selecciona entre: un óxido de un elemento de recubrimiento, un hidróxido de un elemento de recubrimiento, un oxihidróxido de un elemento de recubrimiento, un oxicarbonato de un elemento de recubrimiento y un hidroxicarbonato de un elemento de recubrimiento. El compuesto utilizado para el recubrimiento puede ser amorfo o cristalino. El elemento de recubrimiento incluido en el recubrimiento puede incluir Mg, Al, Co, K, Na, Ca, Si, Ti, V, Sn, Ge, Ga, B, As, Zr o F, o una mezcla de los mismos. El recubrimiento se puede aplicar con cualquier método siempre que el método no afecte negativamente al rendimiento del material activo positivo. Por ejemplo, el método puede incluir cualquier método de recubrimiento bien conocido por un experto en la material, tal como pulverización e infiltración.

- 35 En algunas realizaciones, la capa de material activo positivo incluye además un aglutinante y, opcionalmente, incluye además un material conductor de electrodo positivo.

- 40 El aglutinante mejora la unión entre partículas del material activo positivo y la unión entre el material activo positivo y el colector de corriente. Ejemplos de aglutinante incluyen, entre otros: alcohol polivinílico, hidroxipropilcelulosa, diacetilcelulosa, cloruro de polivinilo, cloruro de polivinilo carboxilado, fluoruro de polivinilo, un polímero que contiene óxido de etileno, polivinilpirrolidona, poliuretano, politetrafluoroetileno, poli(1,1-difluoroetileno), polietileno, polipropileno, caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrílico, resina epoxi y nailon.

- 45 La capa de material activo positivo incluye un material conductor de electrodo positivo, lo que hace que el electrodo sea eléctricamente conductor. El material conductor del electrodo positivo puede incluir cualquier material conductor que no cause un cambio químico. Ejemplos del material conductor del electrodo positivo incluyen, entre otros: un material a base de carbono (por ejemplo, grafito natural, grafito artificial, negro de carbón, negro de acetileno, negro de Ketjen y fibra de carbono), un material a base de metal (por ejemplo, por ejemplo, polvo metálico, fibra metálica, incluyendo cobre, níquel, aluminio, plata y similares), un polímero conductor (por ejemplo, un derivado de polifenileno), o cualquier mezcla de los mismos.

El colector de corriente positiva utilizado para el dispositivo electroquímico según la presente solicitud puede ser, entre otros, aluminio (Al).

- 65 **Solución electrolítica**

La solución electrolítica aplicable a las realizaciones de la presente solicitud puede ser una solución electrolítica conocida en el estado de la técnica anterior.

5 El electrolito aplicable a la solución electrolítica según las realizaciones de la presente solicitud puede ser, entre otros: sal de litio inorgánica, por ejemplo, LiClO_4 , LiAsF_6 , LiPF_6 , LiBF_4 , LiSbF_6 , LiSO_3F y $\text{LiN}(\text{FSO}_2)_2$; sal de litio orgánica que contiene flúor, por ejemplo, LiCF_3SO_3 , $\text{LiN}(\text{FSO}_2)(\text{CF}_3\text{SO}_2)$, $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$, $\text{LiN}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$, 1,3-hexafluoroprop cíclico ano disulfonimida de litio, 1,2-tetrafluoroetano disulfonimida de litio cíclico, $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)(\text{C}_4\text{F}_9\text{SO}_2)$, $\text{LiC}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$, $\text{LiPF}_4(\text{CF}_3)_2$, $\text{LiPF}_4(\text{C}_2\text{F}_5)_2$, $\text{LiPF}_4(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$, $\text{LiPF}_4(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$, $\text{LiBF}_2(\text{CF}_3)_2$, $\text{LiBF}_2(\text{C}_2\text{F}_5)_2$, $\text{LiBF}_2(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ y $\text{LiBF}_2(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$; y sal de litio que contiene un complejo de coordinación de ácido dicarboxílico, por ejemplo, bis(oxalato) borato de litio, difluoro(oxalato) borato de litio, tris(oxalato) fosfato de litio, difluorobis(oxalato) fosfato de litio y tetrafluoro(oxalato) fosfato de litio. Además, se puede usar uno solo de los electrolitos anteriores por separado, o se pueden usar dos o más de ellos simultáneamente. En algunas realizaciones, el electrolito incluye una combinación de LiPF_6 y LiBF_4 . En algunas realizaciones, el electrolito incluye una combinación de una sal de litio inorgánica como LiPF_6 o LiBF_4 y una sal de litio orgánica que contiene flúor como LiCF_3SO_3 , $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ y $\text{LiN}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$. En algunas realizaciones, el electrolito incluye LiPF_6 .

20 En algunas realizaciones, una concentración del electrolito está dentro de un rango de 0,8 mol/L a 3 mol/L, por ejemplo, dentro de un rango de 0,8 mol/L a 2,5 mol/L, dentro de un rango de 0,8 mol/L a 2 mol/L, dentro de un rango de 1 mol/L a 2 mol/L, o, para otro ejemplo, la concentración del electrolito es 1 mol/L, 1,15 mol/L, 1,2 mol/L, 1,5 mol/L, 2 mol/L o 2,5 mol/L.

Los disolventes aplicables a la solución electrolítica según las realizaciones de la presente solicitud incluyen, entre otros, carbonato cíclico, carbonato lineal, carboxilato lineal, éter cíclico o éter lineal.

25 En algunas realizaciones, el carbonato cíclico incluye, entre otros, carbonato de etileno (carbonato de etileno, EC), carbonato de propileno (carbonato de propileno, PC) y carbonato de butileno.

30 En algunas realizaciones, el carbonato cíclico contiene de 3 a 6 átomos de carbono.

35 En algunas realizaciones, el carbonato lineal incluye, entre otros: carbonato lineal tal como carbonato de dimetilo, carbonato de etilmetilo, carbonato de dietilo (DEC), carbonato de n-propilo de metilo, carbonato de n-propilo de etilo y carbonato de di-n-propilo. carbonato; y carbonato lineal sustituida con flúor, tal como carbonato de bis(fluorometilo), carbonato de bis(difluorometilo), carbonato de bis(trifluorometilo), carbonato de bis(2-fluoroetilo), carbonato de bis(2,2-difluoroetilo), carbonato de bis(2,2 (,2-trifluoroetil)carbonato, carbonato de 2-fluoroetilmetilo, carbonato de 2,2-difluoroetilmetilo y carbonato de 2,2,2-trifluoroetilmetilo.

40 En algunas realizaciones, el carboxilato cíclico incluye, entre otros, gamma-butirolactona y gamma-valerolactona. En algunas realizaciones, una parte de los átomos de hidrógeno del carboxilato cíclico puede estar sustituida por flúor.

45 En algunas realizaciones, el carboxilato lineal incluye, pero no se limita a, acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de propilo, acetato de isopropilo, acetato de butilo, acetato de sec-butilo, acetato de isobutilo, acetato de terc-butilo, propionato de metilo, propionato de etilo, propilo. propionato, propionato de isopropilo, butirato de metilo, butirato de etilo, butirato de propilo, isobutirato de metilo, isobutirato de etilo, valerato de metilo, valerato de etilo, pivalato de metilo y pivalato de etilo. En algunas realizaciones, una parte de los átomos de hidrógeno de la cadena carboxilato puede estar sustituida por flúor. En algunas realizaciones, el carboxilato lineal sustituida con flúor incluye, entre otros, trifluoroacetato de metilo, trifluoroacetato de etilo, trifluoroacetato de propilo, trifluoroacetato de butilo y trifluoroacetato de 2,2,2-trifluoroetilo.

50 En algunas realizaciones, el éter cíclico incluye, entre otros, tetrahidrofurano, 2-metiltetrahidrofurano, 1,3-dioxolano, 2-metil1,3-dioxolano, 4-metil1,3-dioxolano, 1,3-dioxano, 1,4-dioxano y dimetoxipropano.

55 En algunas realizaciones, el éter lineal incluye, entre otros, dimetoximetano, 1,1-dimetoxietano, 1,2-dimetoxietano, dietoximetano, 1,1-dietoxietano, 1,2-dietoxietano, etoximetoximetano, 1,1-etoximetoxietano. Y 1,2-etoximetoxietano.

60 En algunas realizaciones, el disolvente usado en la solución electrolítica según la presente solicitud incluye uno o más de los anteriores. En algunas realizaciones, el disolvente usado en la solución electrolítica según la presente solicitud incluye carbonato cíclico, carbonato lineal, carboxilato cíclico, carboxilato lineal y cualquier combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el disolvente usado en la solución electrolítica según la presente solicitud incluye un disolvente orgánico seleccionado de grupos que consisten en: carbonato de etileno, carbonato de propileno, carbonato de dietilo, propionato de etilo, propionato de propilo, acetato de n-propilo, acetato de etilo y cualquier combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el disolvente usado en la solución electrolítica según la presente solicitud incluye: carbonato de etileno, carbonato de propileno, carbonato de dietilo, propionato de etilo, propionato de propilo,

gamma-butirolactona o cualquier combinación de los mismos.

5 Los aditivos aplicables a la solución electrolítica según las realizaciones de la presente solicitud incluyen, entre otros, carbonato cíclico que contiene un doble enlace carbono-carbono y un compuesto que contiene un doble enlace azufre-oxígeno.

10 En algunas realizaciones, el carbonato cíclico que contiene un doble enlace carbono-carbono incluye específicamente, pero no se limita a, al menos uno de: carbonato de vinileno, carbonato de metil vinileno, carbonato de etil vinileno, carbonato de vinile etileno o carbonato de 1,2-dimetil vinileno.

15 En algunas realizaciones, el compuesto que contiene un doble enlace azufre-oxígeno incluye, pero no se limita a, al menos uno de: sulfato de vinilo, sulfato de 1,2-propilenglicol, 1,3-propanosulfona, 1-fluoro-1,3-propanosulfona, 2-fluoro-1,3-propanosulfona o 3-fluoro-1,3-propanosulfona.

15 Separador

20 En algunas soluciones de realización, se dispone un separador entre el electrodo positivo y el electrodo negativo para evitar un cortocircuito. El material y la forma del separador aplicables a las realizaciones de la presente solicitud no están particularmente limitados y pueden basarse en cualquier tecnología descrita en el estado de la técnica anterior. En algunas soluciones de realización, el separador incluye un polímero o un compuesto inorgánico o similar formado a partir de un material que es estable a la solución electrolítica según la presente solicitud.

25 Por ejemplo, el separador puede incluir una capa de sustrato y una capa de tratamiento superficial. La capa de sustrato es un textil no tejido, una lámina o una lámina compuesta, que presentan en cada caso una estructura porosa. El material de la capa de sustrato se selecciona de al menos uno de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y poliimida. Específicamente, el material de la capa de sustrato puede ser una película porosa de polipropileno, una película porosa de polietileno, un textil no tejido de polipropileno, un textil no tejido de polietileno o una película compuesta porosa de polipropileno-polietileno-polipropileno. La estructura porosa puede mejorar la resistencia al calor, la resistencia a la oxidación y el rendimiento de infiltración de electrolitos del separador, y mejorar la adhesividad entre el separador y la placa del electrodo.

35 Una capa de tratamiento superficial está dispuesta sobre al menos una superficie de la capa de sustrato. La capa de tratamiento superficial puede ser una capa de polímero o una capa de compuesto inorgánico, o una capa formada mezclando un polímero y un compuesto inorgánico.

40 La capa de compuesto inorgánico incluye partículas inorgánicas y un aglutinante. Las partículas inorgánicas se seleccionan de una combinación de uno o más de un óxido de aluminio, un óxido de silicio, un óxido de magnesio, óxido de titanio, dióxido de hafnio, óxido de estaño, óxido cerio, óxido de níquel, óxido de zinc, óxido de calcio, óxido de circonio, óxido de itrio, carburo de silicio, boehmita, hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio, hidróxido de calcio y sulfato de bario. El aglutinante se selecciona de una combinación de uno o más de fluoruro de polivinilideno, copolímero de fluoruro de vinilideno-hexafluoropropileno, poliamida, poliacrilonitrilo, poliacrilato, ácido poliacrílico, poliacrilato, polivinilpirrolidona, éter polivinílico, metacrilato de polimetilo, politetrafluoroetileno y polihexafluoropropileno.

50 La capa de polímero incluye un polímero, y el material del polímero se selecciona de al menos uno de poliamida, poliacrilonitrilo, polímero de acrilato, ácido poliacrílico, poliacrilato, polivinilpirrolidona, éter polivinílico, fluoruro de polivinilideno o poli(fluoruro de vinilideno-hexafluoropropileno).

Dispositivo electroquímico

55 La presente solicitud da a conocer además un dispositivo electroquímico, que incluye un electrodo positivo, una solución electrolítica y un electrodo negativo. El electrodo positivo incluye una capa de material activo positivo y un colector de corriente positivo. El electrodo negativo incluye una capa de material activo negativo y un colector de corriente negativo. La capa de material activo negativo incluye el material activo negativo según la presente solicitud.

60 El dispositivo electroquímico según la presente solicitud incluye cualquier dispositivo en el que se produce una reacción electroquímica. Ejemplos específicos del dispositivo incluyen todo tipo de baterías primarias, baterías secundarias, baterías de combustible, baterías solares o condensadores. En particular, el dispositivo electroquímico es una batería secundaria de litio, que incluye una batería secundaria de metal litio, una batería secundaria de iones de litio, una batería secundaria de polímero de litio o una batería secundaria de polímero de iones de litio.

65

Dispositivo electrónico

Otro aspecto de la presente solicitud da a conocer un dispositivo electrónico, que incluye el dispositivo electroquímico según la presente solicitud.

5

El dispositivo electroquímico según la presente solicitud se puede utilizar para fines no particularmente limitados y se puede utilizar para cualquier dispositivo electrónico conocido en estado de la técnica anterior. En algunas soluciones de realización, el dispositivo electroquímico según la presente solicitud es aplicable, pero sin limitación: una computadora portátil, una computadora con entrada de lápiz, una computadora móvil, un reproductor de libros electrónicos, un teléfono portátil, una máquina de fax portátil, una fotocopidora portátil, una impresora portátil, unos auriculares estéreo, una grabadora de vídeo, un televisor con pantalla de cristal líquido, un limpiador de mano, un reproductor de CD portátil, un mini CD-ROM, un transceptor, un bloc de notas electrónico, una calculadora, una tarjeta de memoria, una grabadora de voz portátil, una radio, una fuente de alimentación de reserva, un motor, un automóvil, una motocicleta, una bicicleta con asistencia eléctrica, una bicicleta, un aparato de iluminación, un juguete, una máquina de juegos, un reloj, una herramienta eléctrica, una linterna, una cámara, una batería doméstica grande, un condensador de iones de litio y artículos similares.

10

15

20

A continuación se describe la preparación de una batería de iones de litio como ejemplo con referencia a realizaciones específicas. Un experto en la materia entiende que el método de preparación descrito en la presente solicitud son meros ejemplos. Cualquier otro método de preparación apropiado está dentro del alcance de la presente solicitud.

Realizaciones

25

A continuación se describe la evaluación del rendimiento de las baterías de iones de litio según las realizaciones y realizaciones comparativas de la presente solicitud.

I. Preparación de una batería de iones de litio

30

1. Preparar un electrodo negativo

El método para preparar un electrodo negativo incluye: pulverizar grafito artificial, tamizar el grafito artificial jerárquicamente para controlar la distribución del tamaño de las partículas, de modo que Dv_{90} sea inferior a $25\ \mu\text{m}$ y obtener partículas primarias; agregar un aglutinante a las partículas primarias para unir las partículas y tamizar las partículas jerárquicamente para controlar el tamaño de las partículas, de modo que Dv_{90} sea inferior a $45\ \mu\text{m}$ y obtener partículas secundarias; grafitizar las partículas primarias y las partículas secundarias de $2300\ \text{°C}$ a $3500\ \text{°C}$, y luego tamizar las partículas primarias y secundarias grafitizadas de manera mixta para obtener un material de electrodo negativo de grafito; y mezclar el grafito preparado como material de electrodo negativo, un aditivo, caucho de estireno butadieno (SBR) como aglutinante y carboximetilcelulosa sódica (CMC) como espesante en una relación de masa de 97:1,5:1,5; y agitar y mezclar completamente la mezcla en una cantidad apropiada de agua desionizada para formar una suspensión negativa homogénea que no sedimenta; y recubrir el colector de corriente negativo (lámina de cobre) con la suspensión negativa, realizar secado y calandrado en frío para obtener una capa de material activo negativo, y luego realizar corte y ranurado para obtener un electrodo negativo.

35

40

45

El grado de grafitización y el valor K del material de grafito en el electrodo negativo se pueden controlar controlando una materia prima, un tamaño de partícula, una temperatura de grafitización y una relación de mezcla de partículas primarias con respecto a partículas secundarias.

50

2. Preparar un electrodo positivo

El método para preparar un electrodo positivo incluye: mezclar óxido de litio y cobalto ($\text{Li}_x\text{Co}_a\text{M}_1\text{bO}_{2-c}$, donde x, a, b y c se encuentran dentro de los siguientes rangos: $0,8 \leq x \leq 1,2$, $0,8 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 0,2$, $-0,1 \leq c \leq 0,2$; M1 es manganeso (Mn), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), o cualquier combinación de los mismos), negro de acetileno y difluoruro de vinilideno (PVDF) en una relación de masa de 95:2:3; y agitar y mezclar completamente la mezcla en una cantidad apropiada de disolvente de N-metilpirrolidona (NMP) para formar una suspensión positiva homogénea; y recubrir una lámina de aluminio colector de corriente positiva con la suspensión, realizar secado y calandrado en frío para obtener una capa de material activo positivo, y luego realizar corte y ranurado para obtener un electrodo positivo.

55

60

3. Preparar una solución electrolítica.

El método para preparar una solución electrolítica incluye: mezclar carbonato de etileno (EC), carbonato de propileno (PC) y carbonato de dietilo (DEC) en una caja de guantes con atmósfera seca de argón en una

65

proporción de masa de 1:1:1, agregando 2 % en peso de carbonato de fluoroetileno, 2 % en peso de 1,3-propano sulfona y 2 % en peso de succinitrilo, disolviendo y agitando completamente la mezcla, y luego agregando sal de litio LiPF_6 , y mezclando la mezcla uniformemente para obtener una solución electrolítica, en la que una concentración de LiPF_6 es 1 mol/L.

5

4. Preparar un separador

Como separador se utiliza una película de polímero poroso de polietileno (PE).

10

5. Preparar una batería de iones de litio

El método para preparar una batería de iones de litio incluye: apilar secuencialmente el electrodo positivo, el separador y el electrodo negativo, colocar el separador entre el electrodo positivo y el electrodo negativo para que cumpla una función de separación y enrollarlos para obtener una celda desnuda; soldar pestañas y luego colocar la celda desnuda en un paquete exterior hecho de una película laminada de aluminio, e inyectar la solución electrolítica preparada en la celda desnuda seca, y realizar etapas tales como envasado al vacío, almacenamiento, formación química, remodelación y prueba de capacidad para obtener una batería de iones de litio.

15

20

II. Métodos de prueba

1. Método para determinar el valor K del material de carbono.

El valor K del material de carbono se puede determinar según espectroscopia Raman, y el método incluye: aplicar una fuente de luz de 523 nm (con una intensidad de sombreado del 5 %), seleccionar 100 puntos de muestra en una región de $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$, calcular una relación de una intensidad máxima I_d del material de carbono con un número de onda de 1250 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} a una intensidad máxima I_g del material de carbono con un número de onda de 1500 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} , y utilizando un valor promedio de las relaciones como un valor K del carbono material.

25

30

2. Método para determinar el grado de grafitización del material de carbono.

El método para determinar el grado de grafitización del material de carbono incluye: usar polvo de silicio de alta pureza (pureza $\geq 99,99 \%$) como sustancia estándar interna para la calibración, mezclar el material de carbono y el silicio en una proporción de masa de 5:1, moler el mezclar uniformemente y presionar la mezcla en muestras de tabletas; medir un espaciado interplanar (d_{002}) de una superficie 002 del material de carbono usando un difractómetro de rayos X (usando $\text{Cu K}\alpha$ como material objetivo), y calcular el grado de grafitización Gr del material de carbono de acuerdo con la siguiente fórmula

35

40

$$\text{Gr} = 0,344 - d_{002} / 0,086 \times 100 \%$$

3. Método para determinar el grado de orientación S del material activo negativo y el grado de orientación S' de la capa de material activo negativo

Un patrón de líneas de difracción de superficie (004) y un patrón de líneas de difracción de superficie (110) en patrones de difracción de rayos X del material activo negativo y la capa de material activo negativo se determinan según *Determination Method of Artificial Graphite Lattice Parameters*, JB/T 4220-2011, un estándar de la industria de maquinaria de la República Popular China. Las condiciones de la prueba son las siguientes: los rayos X adoptan radiación $\text{CuK}\alpha$ y la radiación $\text{CuK}\alpha$ se elimina mediante un filtro o un monocromador. El voltaje de trabajo de un tubo de rayos X es de 35 kV a 45 kV y la corriente de trabajo es de 30 mA a 50 mA. La velocidad de escaneo de un contador es de $0,3 \text{ (}^\circ\text{)}/\text{min}$. Al registrar el patrón de líneas de difracción de la superficie (004), el rango de exploración de un ángulo de difracción 2θ es de 52° a 58° . Al registrar el patrón de líneas de difracción de la superficie (110), el rango de exploración del ángulo de difracción 2θ es de 70° a 79° .

45

50

55

Un área de pico del material activo negativo obtenido del patrón de líneas de difracción de la superficie (004) se denomina C004. Un área de pico del material activo negativo obtenido a partir del patrón de líneas de difracción de la superficie (110) se denomina C110. Se calcula una proporción de C004 a C110 del material activo negativo y se denota como S.

60

Un área de pico de la capa de material activo negativo obtenida a partir del patrón de líneas de difracción de la superficie (004) se denomina C004'. Un área de pico de la capa de material activo negativo obtenida a partir del patrón de líneas de difracción de la superficie (110) se denomina C110'. Se calcula una relación de C004' a C110' del material activo negativo y se denota como S'.

65

ES 2 981 190 T3

4. Método para medir el tamaño del cristal del material de carbono.

El tamaño L_a del cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal y el tamaño L_c del cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical en el material activo negativo se analizan y miden usando un difractómetro de rayos X.

5. Método para medir el tamaño de partícula del material activo negativo.

El tamaño de partícula del material activo negativo se mide usando un analizador de tamaño de partículas Malvern, y el método incluye: dispersar el material activo negativo en un dispersante de etanol, someter a ultrasonidos el material durante 30 minutos para hacer una muestra, agregar la muestra al Malvern analizador de tamaño de partículas y medición de Dv_{90} y Dv_{10} del material activo negativo.

6. Método para determinar la densidad superficial de la capa de material activo negativo.

El método para determinar la densidad del área incluye: descargar la batería al estado de carga (SOC) del 0 %, desmontar la batería, lavarla y secarla y pesar un trozo de electrodo negativo usando una balanza electrónica (ambos lados del electrodo negativo). el colector de corriente está recubierto con la capa de material activo negativo, donde el área de la pieza de electrodo negativo se indica como A y el peso se indica como W_1 ; lavar la capa de material activo negativo usando un disolvente; y secar y medir el peso del colector de corriente negativo, denominado W_2 ; y calcular la densidad de área de la capa de material activo negativo de acuerdo con la siguiente fórmula: densidad de área = $(W_1 - W_2)/(A \times 2)$.

7. Método para determinar la densidad compactada de la capa de material activo negativo.

El método para determinar la densidad compactada incluye: descargar la batería al 0 % SOC, desmontar la batería, lavarla y secarla y pesar un trozo de electrodo negativo usando una balanza electrónica (ambos lados del colector de corriente negativo están recubiertos con la capa de material activo negativo), donde el área de la pieza de electrodo negativo se indica como A y el peso se indica como W_1 ; y medir el espesor T_1 del electrodo negativo usando un micrómetro; lavar la capa de material activo negativo utilizando un disolvente, secar el colector de corriente negativo, medir el peso del colector de corriente negativo, denominado W_2 , y medir el espesor del colector de corriente negativo utilizando un micrómetro, denominado T_2 ; y calcular el peso W_0 y el espesor T_0 de la capa de material activo negativo ubicada en un lado del colector de corriente negativo, y la densidad compactada de la capa de material activo negativo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$W_0 = W_1 - W_2 / 2$$

$$T_0 = T_1 - T_2 / 2$$

$$\text{Densidad compactada} = W_0 / T_0 \times A.$$

8. Método para determinar la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo.

El método para determinar la resistencia a la separación incluye: probar la unión entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo usando un probador de tensión Instron (modelo: 33652), específicamente, tomando una longitud de 15 mm a 20 mm de un electrodo negativo, fijando la pieza de electrodo negativo sobre una lámina de acero usando una cinta de doble cara de 3M y pegando la cinta en la superficie de la capa de material activo negativo, donde un extremo de la cinta de doble cara está conectado a una cinta de papel cuyo ancho es igual al de la cinta de doble cara; ajustar un tope de un probador de tracción a una posición apropiada, doblar la cinta de papel hacia arriba y deslizar la cinta de papel 40 mm a una velocidad de deslizamiento de 50 mm/min; y probar (es decir, tirar del material en dirección opuesta) la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo a una temperatura de 180°.

9. Método para determinar la porosidad de la capa de material activo negativo

Muestras de la capa de material activo negativo se convierten en obleas completas. Para cada realización o realización comparativa, se analizan 30 muestras y el tamaño de cada muestra es de aproximadamente $0,35 \text{ cm}^3$. La porosidad de la capa de material activo negativo se determina de acuerdo con el estándar *Iron ores Determination of Apparent Density, True Density And Porosity, GB/T24586-2009*.

10. Método para determinar el tiempo de infiltración de la capa de material activo negativo.

El método para determinar el tiempo de infiltración incluye: agregar 1 mL de solución electrolítica gota a gota

sobre la capa de material activo negativo y comenzar a contar el tiempo. El conteo del tiempo se detiene cuando la solución electrolítica en la superficie de la capa de material activo negativo desaparece por completo. Se obtienen 100 valores de tiempo contado para cada realización o realización comparativa, y se utiliza una media de los valores como tiempo de infiltración de la capa de material activo negativo.

5

11. Método para determinar la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo.

La temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo desmontada en un estado completamente cargado o en un estado completamente descargado se mide usando un calorímetro diferencial de barrido cuando la capa de material activo negativo se calienta de 0 °C a 800 °C a una velocidad de calentamiento constante.

10

12. Método para determinar la tasa de retención de capacidad de ciclo de la batería de iones de litio

El método de determinación incluye: dejar reposar la batería de iones de litio durante 10 minutos a una temperatura de 45 °C, cargar la batería a una corriente constante de 0,7 C hasta que el voltaje alcance 4,4 V, descargar la batería a una tensión constante de 4,4 V hasta que la corriente alcance 0,05 C, y dejando la batería en reposo durante 10 minutos; cargar la batería a una corriente constante de 0,7 C hasta que el voltaje alcance 3,0 V, y dejar la batería en reposo durante 10 minutos para que se complete un ciclo; registrar una capacidad de descarga después del primer ciclo; repetir las etapas anteriores para completar 400 ciclos y registrar una capacidad de descarga después de los ciclos; calcular la tasa de retención de capacidad de ciclo de la batería de iones de litio de acuerdo con la siguiente fórmula:

15

20

tasa de retención de capacidad de ciclo = (capacidad de descarga después de los ciclos/capacidad de descarga después del primer ciclo) × 100 %;

25

y

probar la tasa de retención de capacidad de ciclo de la batería de iones de litio a 25 °C realizando etapas básicamente idénticas excepto que la temperatura de trabajo es de 25 °C y la cantidad de ciclos es 800.

30

13. Método para determinar la tasa de expansión del ciclo de la batería de iones de litio.

El método de determinación incluye: dejar reposar la batería de iones de litio durante 10 minutos a una temperatura de 45 °C, cargar la batería a una corriente constante de 0,7 C hasta que el voltaje alcance 4,4 V, descargar la batería a una tensión constante de 4,4 V hasta que la corriente alcance 0,05 C, y dejando la batería en reposo durante 10 minutos; cargar la batería a una corriente constante de 0,7 C hasta que el voltaje alcance 3,0 V, y dejar la batería en reposo durante 10 minutos para que se complete un ciclo; registrar el espesor de la batería de iones de litio después del primer ciclo; repetir las etapas anteriores para completar 400 ciclos y registrar el espesor de la batería de iones de litio después de los ciclos; calcular la tasa de expansión del ciclo de la batería de iones de litio según la siguiente fórmula:

35

40

tasa de expansión del ciclo = (espesor después de los ciclos/espesor después del primer ciclo) × 100 %;

y

probar la tasa de expansión del ciclo de la batería de iones de litio a 25 °C realizando etapas básicamente idénticas excepto que la temperatura de trabajo es 25 °C y la cantidad de ciclos es 800.

45

14. Método para probar el recubrimiento de litio de la batería de iones de litio.

El método incluye: descargar la batería de iones de litio a una corriente constante de 0,5 C y a una temperatura de 25 °C hasta que el voltaje alcance 3,0 V, y dejar la batería en reposo durante 10 minutos; cargar la batería a una corriente constante de 1,5 C hasta que el voltaje alcance 4,1 V, cargar la batería a una tensión constante de 4,1 V hasta que la corriente alcance 0,05 C, cargar la batería a una corriente constante de 0,7 C hasta que el voltaje alcance 4,3 V, cargando la batería a un voltaje constante de 4,3 V hasta que la corriente alcance 0,05 C, cargando la batería a una corriente constante de 0,5 C hasta que el voltaje alcance 4,4 V, cargando la batería a un voltaje constante de 4,4 V hasta que la corriente alcance 0,05 C, y finalmente descargar la batería a una corriente constante de 0,5 C hasta que el voltaje alcance 3,0 V, y dejar la batería en reposo durante 10 minutos; repetir los procesos de carga y descarga anteriores durante 10 ciclos; desmontar la batería en condiciones secas, tomar fotografías para registrar el estado del electrodo negativo; y determinar un grado de recubrimiento de litio de la batería de iones de litio de acuerdo con los siguientes criterios: cuando el electrodo negativo de la batería desmontada presenta un color amarillo dorado en su conjunto, se ve gris en muy pocas posiciones del electrodo negativo, y el área de la región gris representa menos del 2 %, se determina que no se produce recubrimiento de litio.

50

55

60

Cuando el electrodo negativo de la batería desmontada presenta principalmente un color amarillo dorado, se ve gris en algunas posiciones del electrodo negativo y el área de la región gris representa del 2 % al 20 %, se

65

determina que se produce un ligero recubrimiento de litio.

5 Cuando el electrodo negativo de la batería desmontada presenta un color gris en su conjunto, se ve amarillo dorado en algunas posiciones del electrodo negativo y el área de la región gris representa del 20 % al 60 %, se determina que se produce un recubrimiento de litio.

Cuando el electrodo negativo de la batería desmontada presenta un color gris en su conjunto y el área de la región gris representa más del 60 %, se determina que se produce una severa deposición de litio.

10 III. Resultados de la prueba

La tabla 1 muestra cómo las características del material activo negativo afectan el rendimiento de la batería de iones de litio.

15 Como se muestra en la realización comparativa 1, cuando la relación Gr/K del grado de grafitización Gr a K del material activo negativo es menor que 6 y K es mayor que 0,15, la eficiencia coulombica del primer ciclo de la batería de iones de litio es muy baja, se produce el recubrimiento de litio (como se muestra en la FIGURA 4), la tasa de retención de capacidad del ciclo es relativamente baja y la tasa de expansión del ciclo es alta. Como se muestra en la realización comparativa 2, cuando la relación Gr/K del grado de grafitización Gr a K del material activo negativo es mayor que 16 y K es menor que 0,06, la eficiencia coulombica del primer ciclo de la batería de iones de litio es relativamente Se produce un deposición de litio
20 baja y severa (como se muestra en la FIGURA 5), la tasa de retención de capacidad del ciclo es muy baja y la tasa de expansión del ciclo es muy alta.

25 Como se muestra en las realización 1 a 25, 27 y 30 a 35 y en las realizaciones de referencia 26, 28, 29 y 36, cuando la relación Gr/K del grado de grafitización Gr a K del material activo negativo está dentro de un rango de 6 a 16 y K está dentro de un rango de 0,06 a 0,15, la eficiencia coulombica del primer ciclo y la tasa de retención de capacidad del ciclo de la batería de iones de litio se pueden aumentar significativamente, la tasa de expansión del ciclo de la batería de iones de litio se puede reducir significativamente, y el recubrimiento
30 de litio de la batería de iones de litio durante los ciclos se puede suprimir significativamente (como se muestra en la FIGURA 3). La mejora significativa de la eficiencia coulombica del primer ciclo indica un aumento significativo de la densidad de energía de la batería de iones de litio. El aumento significativo de la tasa de retención de la capacidad del ciclo y la disminución significativa de la tasa de expansión del ciclo indican un rendimiento del ciclo significativamente mejorado de la batería de iones de litio. La supresión del
35 recubrimiento de litio ayuda a mejorar significativamente el rendimiento de la batería de iones de litio. Por lo tanto, la densidad de energía, el rendimiento del ciclo y el rendimiento de la velocidad de las baterías de iones de litio en las realizaciones 1 a 25, 27 y 30 a 35 y en las realizaciones de referencia 26, 28, 29 y 36 mejoran significativamente.

40 Cuando el grado de grafitización Gr del material activo negativo está dentro del intervalo de 0,92 a 0,96, el rendimiento general de la batería de iones de litio es más óptimo.

45 Cuando el tamaño del cristal del material de carbono en el material activo negativo y el grado de orientación del material activo negativo satisfacen la siguiente relación: $Lc/S < 9$, $La/S > 20$, $Lc < 45$ y $La > 50$, la eficiencia coulombica del primer ciclo y la tasa de retención de capacidad del ciclo de la batería de iones de litio mejoran, la tasa de expansión del ciclo y/o el recubrimiento de litio de la batería de iones de litio se reducen aún más y el rendimiento general de la batería de iones de litio mejora aún más.

50 El valor $(Dv90/Dv10+Dv90)$ superior a 23,0 ayuda a mejorar aún más la tasa de retención de la capacidad del ciclo y suprime el recubrimiento de litio de la batería de iones de litio y mejora el rendimiento general de la batería de iones de litio.

55 La FIGURA 1 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) de un material activo negativo usado en la realización comparativa 2 con un aumento de 500x. Como se muestra en la FIGURA 1, el material activo negativo en la realización comparativa 2 incluye simplemente partículas primarias. La FIGURA 2 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM) de un material activo negativo utilizado en la realización 5 con un aumento de 500x. Como se muestra en la FIGURA 2, el material activo negativo en la realización 5 incluye partículas primarias y partículas secundarias, cada una de las cuales representa un porcentaje, y el grado de grafitización y el valor K del material de carbono se pueden
60 ajustar ajustando el porcentaje.

65 La FIGURA 6 muestra una curva de una tasa de retención de capacidad de ciclo de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 25 °C. La FIGURA 7 muestra una curva de una tasa de retención de capacidad de ciclo de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 45 °C. Los resultados muestran que, en contraste con

las realizaciones comparativas 1 y 2, la tasa de retención de capacidad de ciclo de la batería de iones de litio en la realización 5 por debajo de 25 °C y 45 °C siempre permanece por encima del 90 %. A medida que aumenta la cantidad de ciclos, la tasa de retención de capacidad de ciclo difiere más pronunciadamente entre la realización 5 y las realizaciones comparativas 1 y 2. La FIGURA 8 muestra una curva de una tasa de expansión de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 25 °C. La FIGURA 9 muestra una curva de una tasa de expansión de baterías de iones de litio descritas en la realización comparativa 1, la realización comparativa 2 y la realización 5 y sometidas a una cantidad de ciclos a 45 °C. Los resultados muestran que, en contraste con las realizaciones comparativas 1 y 2, la tasa de expansión del ciclo de la batería de iones de litio en la realización 5 por debajo de 25 °C es siempre inferior al 8 %, y la tasa de expansión del ciclo por debajo de 45 °C es siempre menor del 10 %. A medida que aumenta la cantidad de ciclos, la tasa de expansión del ciclo difiere más pronunciadamente entre la realización 5 y las realizaciones comparativas 1 y 2. Los resultados anteriores indican que el rendimiento del ciclo de la batería de iones de litio en la realización 5 mejora significativamente durante los ciclos tanto a temperatura ambiente como a temperatura alta.

La tabla 2 muestra cómo las características de la capa de material activo negativo afectan el rendimiento de la batería de iones de litio. Las realizaciones 37 a 44 son mejoras realizadas en base a la realización 5 mostrada en la tabla 1, y difieren de la realización 5 solo en los parámetros enumerados en la tabla 2.

Los resultados muestran que, cuando la densidad de área de la capa de material activo negativo es constante, el rendimiento general de la batería puede verse afectado aún más por la densidad compactada de la capa de material activo negativo, la anisotropía (S' disminuye) y la porosidad de la capa de material activo negativo y la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo. La eficiencia coulombica del primer ciclo y la tasa de retención de capacidad del ciclo mejoran aún más, la tasa de expansión del ciclo y/o el recubrimiento de litio de la batería de iones de litio se reducen aún más, y el rendimiento general de la batería de iones de litio mejora aún más cuando los parámetros satisfacen las siguientes condiciones: la densidad superficial de la capa de material activo negativo es de 0,077 mg/mm² a 0,121 mg/mm², la densidad compactada es de 1,70 g/cm³ a 1,92 g/cm³, S' de la batería de iones de litio en el estado completamente descargado es de 10 a 20, la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 6 N/m a 15 N/m, la porosidad de la capa de material activo negativo es de 20 % a 40 %, la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo en el estado completamente cargado no es inferior a 280 °C, y/o la temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo en el estado completamente descargado es mayor o igual a 130 °C. Cuando la densidad compactada de la capa de material activo negativo es constante, la batería de iones de litio cuya densidad superficial de la capa de material activo negativo es 0,100 mg/mm² exhibe un rendimiento general relativamente alto.

Las referencias a "realizaciones", "algunas realizaciones", "una realización", "otro ejemplo", "ejemplo", "ejemplo específico" o "algunos ejemplos" a lo largo de la descripción significan que al menos una realización o ejemplo en la presente solicitud incluye características, estructuras, materiales o características descritas en las realizaciones o ejemplos. Por lo tanto, las descripciones a lo largo de la descripción, que hacen referencia mediante el uso de expresiones tales como "en algunas realizaciones", "en una realización", "en una realización", "en otro ejemplo", "en un ejemplo", "en un ejemplo específico", o "ejemplo", no se refieren necesariamente a las mismas realizaciones o ejemplos en la presente solicitud. Además, las características, estructuras, materiales o características específicas del presente documento se pueden combinar en una o más realizaciones o ejemplos de cualquier manera adecuada.

Tabla 1

	Gr/K	K	Gr	Lc/S	La/S	Lc	La	Dv90	Dv90/Dv10 +Dv90	Eficiencia coulombiana del primer ciclo.	Fenómeno del recubrimiento de litio	Tasa de retención de capacidad del ciclo	Tasa de expansión del ciclo
Realización 1	9,2	0,10	0,923	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	92,7 %	Sin recubrimiento de litio	92,7 %	8,2 %
Realización 2	9,6	0,10	0,955	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,6 %	Sin recubrimiento de litio	92,0 %	8,7 %
Realización 3	6,3	0,15	0,90	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	92,6 %	Sin recubrimiento de litio	91,5 %	8,1 %
Realización 4	7,2	0,13	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,0 %	Sin recubrimiento de litio	92,1 %	8,2 %
Realización 5	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,4 %	Sin recubrimiento de litio	92,5 %	8,2 %
Realización 6	13,4	0,07	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,6 %	Sin recubrimiento de litio	92,1 %	8,6 %
Realización 7	6,6	0,14	0,920	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	91,4 %	Sin recubrimiento de litio	90,5 %	8,2 %
Realización 8	7,7	0,12	0,925	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	92,5 %	Sin recubrimiento de litio	91,5 %	8,2 %
Realización 9	8,5	0,11	0,935	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,0 %	Sin recubrimiento de litio	91,5 %	8,4 %
Realización 10	10,6	0,09	0,950	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,2 %	Sin recubrimiento de litio	92,5 %	8,8 %
Realización 11	12,0	0,08	0,960	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,7 %	Sin recubrimiento de litio	92,7 %	9,0 %
Realización 12	14,0	0,07	0,950	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	93,4 %	Sin recubrimiento de litio	91,5 %	8,9 %
Realización 13	15,9	0,06	0,956	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	94,2 %	Ligera placa de litio	90,2 %	9,7 %
Realización 14	6,1	0,15	0,920	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	91,0 %	Sin recubrimiento de litio	90,5 %	8,2 %
Realización 15	6,4	0,15	0,960	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	92,5 %	Sin recubrimiento de litio	90,3 %	9,1 %
Realización 16	15,3	0,16	0,920	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	92,4 %	Sin recubrimiento de litio	91,5 %	9,0 %
Realización 17	9,1	0,10	0,910	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	91,4 %	Sin recubrimiento de litio	91,3 %	9,1 %
Realización 18	7,0	0,13	0,910	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	91,0 %	Sin recubrimiento de litio	91,0 %	9,2 %
Realización 19	9,7	0,10	0,970	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	91,0 %	Ligera placa de litio	90,1 %	9,1 %
Realización 20	9,4	0,10	0,940	8,9	33,8	26,7	101,4	28,5	38,0	91,3 %	Ligera placa de litio	91,9 %	8,6 %
Realización 21	9,4	0,10	0,940	8,5	33,5	25,5	100,5	28,5	38,0	91,7 %	Sin recubrimiento de litio	92,0 %	8,2 %
Realización 22	9,4	0,10	0,940	7,1	31,8	22,0	98,6	28,5	38,0	92,7 %	Sin recubrimiento de litio	92,3 %	8,2 %

(continuación)

	Gr/ K	K	Gr	Lc/S	La/S	Lc	La	Dv90	Dv90/Dv10 +Dv9 0	Eficiencia coulombiana del primer ciclo.	Fenómeno del recubrimiento de litio	Tasa de retención de capacidad del ciclo	Tasa de expansión del ciclo
Realización 23	9,4	0,10	0,940	6,5	29,1	22,8	101,9	28,5	38,0	93,0 %	Sin recubrimiento de litio	92,1 %	8,3 %
Realización 24	9,4	0,10	0,940	4,7	21,8	26,4	122,5	28,5	38,0	92,9 %	Sin recubrimiento de litio	91,9 %	8,5 %
Realización 25	9,4	0,10	0,940	4,3	21,2	41,2	166,4	28,5	38,0	92,6 %	Ligera placa de litio	91,2 %	8,8 %
Realización de referencia 26	9,4	0,10	0,940	7,0	18,0	21,4	55,0	28,5	38,0	91,0 %	Sin recubrimiento de litio	92,0 %	8,6 %
Realización 27	9,4	0,10	0,940	10,1	24,3	43,0	95,0	28,5	38,0	91,5 %	Sin recubrimiento de litio	90,7 %	9,1 %
Realización de referencia 28	9,4	0,10	0,940	12,0	19,0	48,0	76,0	28,5	38,0	91,1 %	Ligera placa de litio	90,6 %	9,3 %
Realización de referencia 29	9,4	0,10	0,940	20,0	17,0	40,0	45,0	28,5	38,0	90,4 %	Sin recubrimiento de litio	90,2 %	8,8 %
Realización 30	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	43,0	93,0 %	Sin recubrimiento de litio	92,3 %	8,3 %
Realización 31	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	50,0	92,5 %	Sin recubrimiento de litio	91,9 %	8,6 %
Realización 32	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	23,5	26,8	90,1 %	Sin recubrimiento de litio	90,2 %	8,4 %
Realización 33	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	32,5	38,0	92,3 %	Sin recubrimiento de litio	91,9 %	8,3 %
Realización 34	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	25,5	38,0	92,1 %	Sin recubrimiento de litio	92,3 %	8,1 %
Realización 35	9,4	0,10	0,940	5,8	25,2	26,6	115,4	18,0	21,0	92,3 %	Ligera placa de litio	92,3 %	8,9 %
Realización de referencia 36	9,4	0,10	0,940	13,0	18,5	65,0	92,5	18,0	21,0	90,0 %	Ligera placa de litio	90,2 %	9,6 %
Realización comparativa 1	5,1	0,18	0,910	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	86,0 %	Recubrimiento de litio	87,5 %	10,0 %
Realización comparativa 2	18,0	0,05	0,970	5,8	25,2	26,6	115,4	28,5	38,0	89,0 %	Recubrimiento de litio severo	86,0 %	11,8 %

Tabla 2

	Densidad de área (mg/mm ²)	S'	Densidad compactada (g/cm ³)	Resistencia a la separación (N/m)	Porosidad	Temperatura de descomposición térmica (°C)		Eficiencia coulombiana del primer ciclo.	Tasa de retención de capacidad del ciclo (45 °C)	Tasa de expansión del ciclo (45 °C)
						Completamente descargado	Completamente cargado			
Realización 37	0,090	11,2	1,72	7,5	31,0 %	132	305	93,2 %	92,1 %	8,0 %
Realización 38	0,090	12,3	1,77	9,0	28,0 %	135	311	93,0 %	91,4 %	8,1 %
Realización 39	0,090	14,1	1,83	10,8	25,0 %	140	321	92,7 %	90,7 %	8,3 %
Realización 40	0,100	12,5	1,72	8,5	33,2 %	135	313	93,2 %	92,3 %	8,1 %
Realización 5	0,100	14,0	1,77	10,3	30,0 %	136	316	93,4 %	92,5 %	8,2 %
Realización 41	0,100	15,6	1,83	12,2	26,8 %	139	317	93,0 %	92,0 %	8,5 %
Realización 42	0,118	13,8	1,72	9,5	35,6 %	143	331	93,1 %	91,8 %	8,2 %
Realización 43	0,118	15,5	1,77	11,3	32,1 %	145	334	93,0 %	91,4 %	8,4 %
Realización 44	0,118	17,9	1,83	13,9	29,3 %	148	338	92,9 %	91,0 %	8,7 %

REIVINDICACIONES

1. Material activo negativo, en el que el material activo negativo comprende un material de carbono; y $6 < Gr/K < 16$,

en donde Gr es un grado de grafitización del material de carbono, medido mediante difracción de rayos X; y K es una relación I_d/I_g de una intensidad máxima I_d del material de carbono en un número de onda de 1250 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} a una intensidad máxima I_g del material de carbono en un número de onda de 1500 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} , y se mide usando espectroscopia de Raman, y K es de 0,06 a 0,15, **caracterizado por que**

$$La/S > 20,$$

en donde

La es el tamaño de un cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal medido mediante difracción de rayos X, y se mide en unidades de nm;
S es una relación entre un área de pico C004 de una superficie (004) y un área de pico C110 de una superficie (110) del material activo negativo medida usando un patrón de difracción de rayos X; y La es mayor que 50.

2. Material activo negativo, según la reivindicación 1, en el que Gr es de 0,92 a 0,96.

3. Material activo negativo, según la reivindicación 1 o 2, en el que

$$Lc/S < 9;$$

donde

Lc es el tamaño de un cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical medido mediante difracción de rayos X, y se mide en unidades de nm;
S es una relación entre un área de pico C004 de una superficie (004) y un área de pico C110 de una superficie (110) del material activo negativo medida usando un patrón de difracción de rayos X; y Lc es menor que 45.

4. Material activo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que un valor Dv_{10} y un valor Dv_{90} del material activo negativo en μm satisfacen la siguiente relación: $Dv_{90}/Dv_{10} + Dv_{90} > 23,0$.

5. Material activo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que $8 < Gr/K < 15$; o K es de 0,08 a 0,10.

6. Material activo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que $La/S > 22$.

7. Material activo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que $Lc/S < 8$.

8. Dispositivo electroquímico, que comprende un electrodo positivo, una solución electrolítica y un electrodo negativo, en el que el electrodo negativo comprende una capa de material activo negativo y un colector de corriente negativo, y la capa de material activo negativo comprende el material activo negativo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

9. Dispositivo electroquímico, según la reivindicación 8, en el que la densidad superficial de la capa de material activo negativo es de $0,077\text{ mg/mm}^2$ a $0,121\text{ mg/mm}^2$, la densidad compactada de la capa de material activo negativo es de $1,70\text{ g/cm}^3$ a $1,92\text{ g/cm}^3$.

10. Dispositivo electroquímico, según la reivindicación 8 o 9, en el que, en un estado completamente descargado, medido mediante un patrón de difracción de rayos X, una relación S' de un área de pico C004' de una superficie (004) a un área de pico C110' de una (110) superficie de la capa de material activo negativo es de 10 a 20.

11. Dispositivo electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que la resistencia a la separación entre la capa de material activo negativo y el colector de corriente negativo es de 6 N/m a 15 N/m.

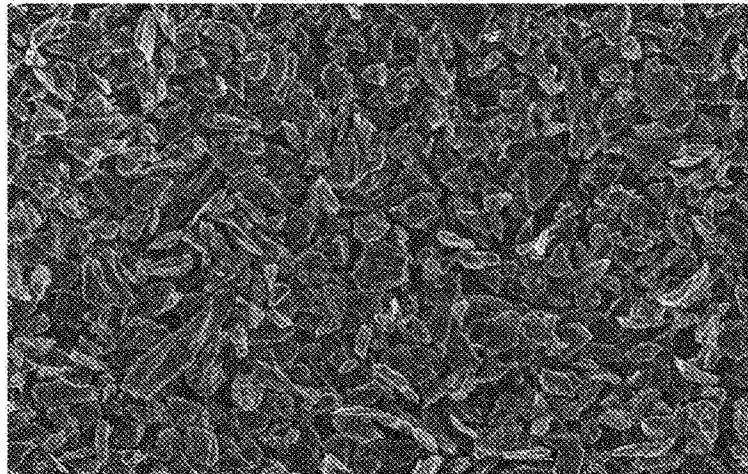
12. Dispositivo electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que la porosidad de la capa de material activo negativo es del 20 % al 40 %.

13. Dispositivo electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que, en un estado

completamente cargado del dispositivo electroquímico, una temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 280 °C.

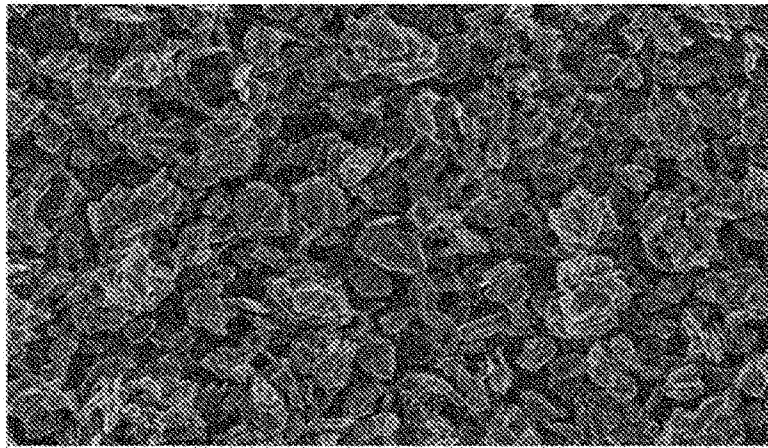
5 14. Dispositivo electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que, en un estado completamente descargado del dispositivo electroquímico, una temperatura de descomposición térmica de la capa de material activo negativo es mayor o igual a 130 °C.

10 15. Dispositivo electrónico, que comprende el dispositivo electroquímico según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14.



10 μm

FIG. 1



10 µm

FIG. 2

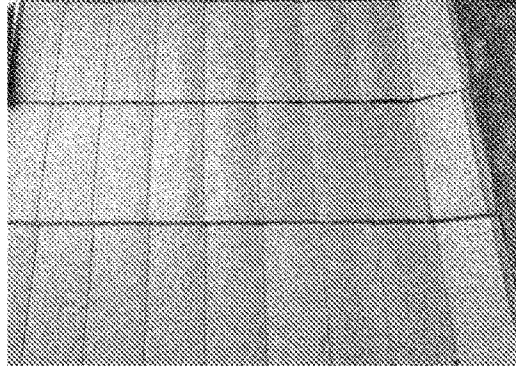


FIG. 3



FIG. 4

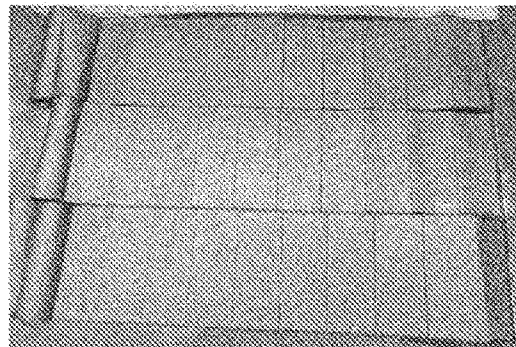


FIG. 5

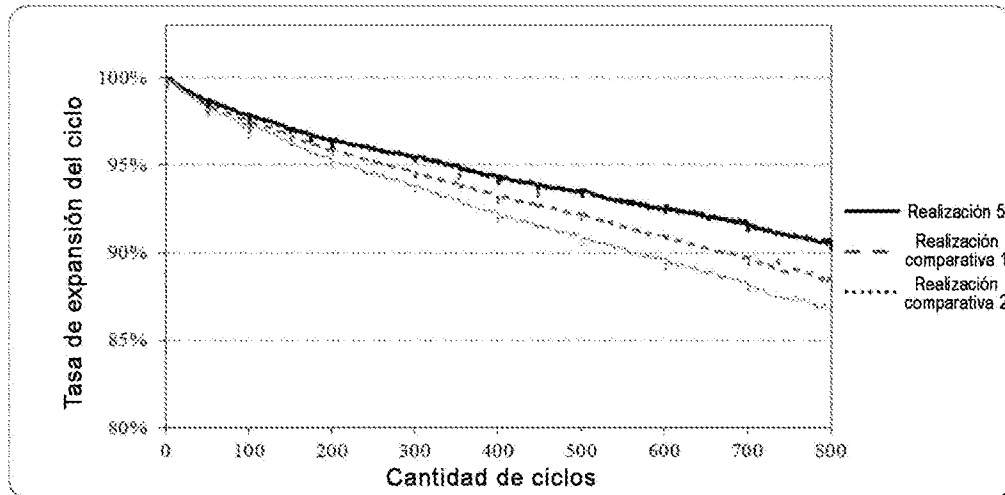


FIG. 6

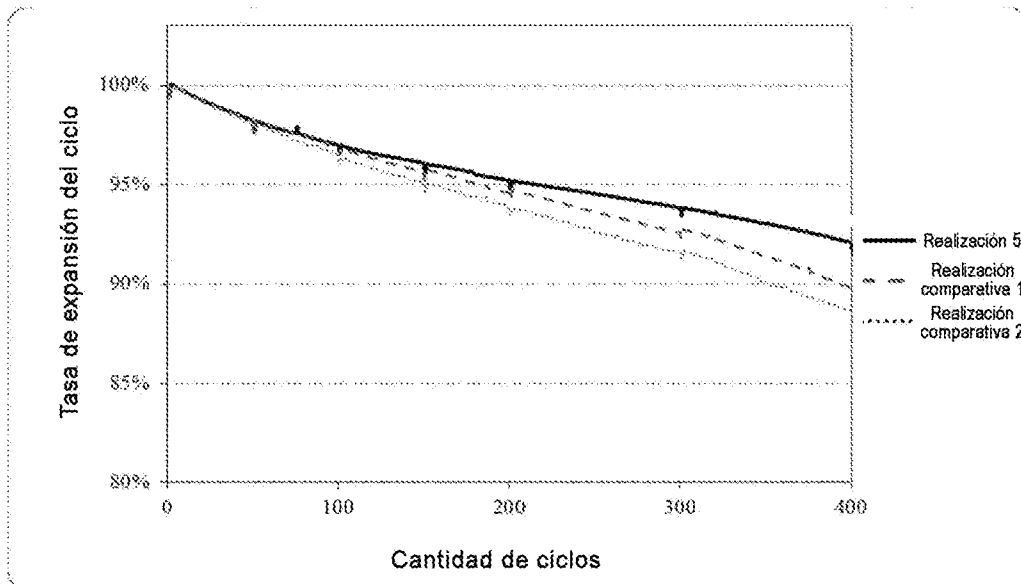


FIG. 7

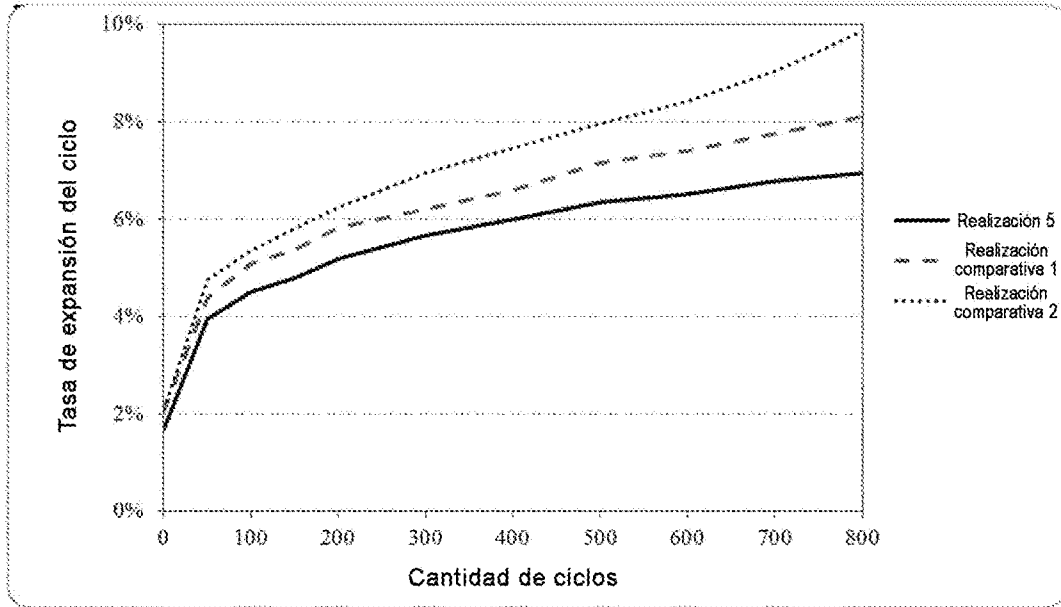


FIG. 8

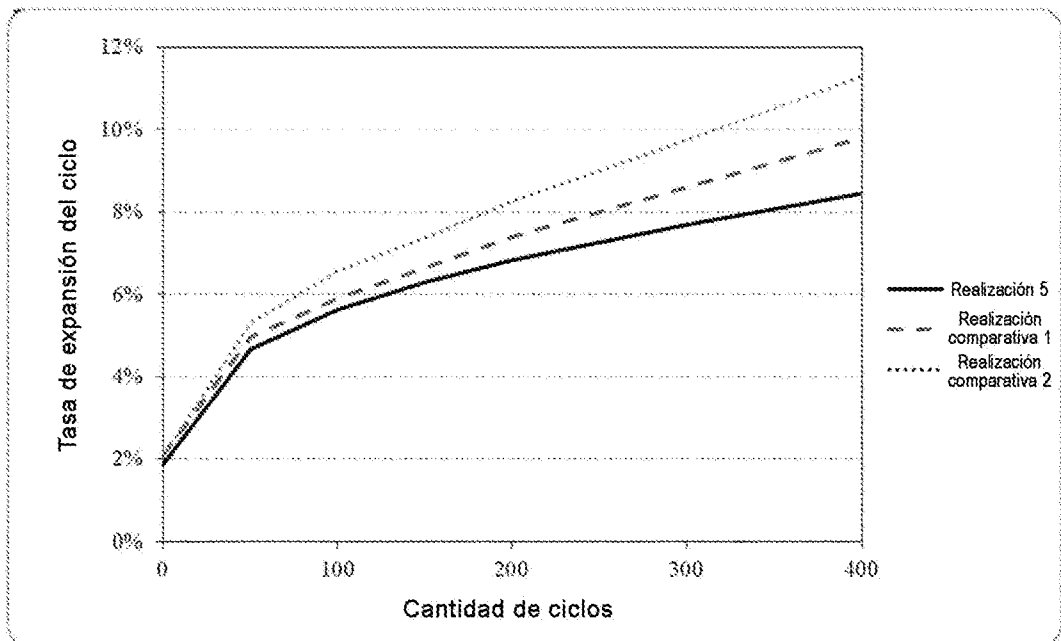


FIG. 9

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

- CN 109553085 A