

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 668**

51 Int. Cl.:

H01M 4/133 (2010.01)
H01M 4/04 (2006.01)
H01M 4/583 (2010.01)
H01M 10/052 (2010.01)
C01B 32/05 (2007.01)
H01M 4/587 (2010.01)
H01M 10/0525 (2010.01)
H01M 4/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2020 PCT/CN2020/086741**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **28.10.2021 WO21212481**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2020 E 20932220 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024 EP 4141987**

54 Título: **Material activo de electrodo negativo, y aparato electroquímico y aparato electrónico que utilizan dicho material**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.02.2025

73 Titular/es:

NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LIMITED
(100.00%)
No.1 Xingang Road
Zhangwan Town, Jiaocheng District Ningde City
Fujian 352100, CN

72 Inventor/es:

JIN, WENBO;
DONG, JIALI;
HE, LIHONG y
XIE, YUANSEN

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 999 668 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 aparato electroquímico y aparato electrónico que utilizan dicho material

SECTOR TÉCNICO

La presente solicitud se refiere al sector del almacenamiento de energía y, de manera específica, a un material activo de electrodo negativo, a un aparato electroquímico y a un aparato electrónico que lo utilizan.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

Los aparatos electroquímicos (por ejemplo, baterías de iones de litio) se aplican ampliamente debido a ventajas, tales como respeto al medio ambiente, un alto voltaje de trabajo, una gran capacidad específica y una larga vida útil y, por lo tanto, se han convertido en la nueva fuente de energía química ecológica más prometedora del mundo. Las baterías de iones de litio de tamaño pequeño se utilizan, en general, como fuentes de energía para accionar dispositivos de comunicación electrónicos portátiles (por ejemplo, videocámaras, teléfonos móviles u ordenadores portátiles), especialmente fuentes de energía para dispositivos portátiles de alto rendimiento. Las baterías de iones de litio de tamaño mediano y grande con alto rendimiento se desarrollan y se aplican a vehículos eléctricos (EV, *electric vehicles*) y a sistemas de almacenamiento de energía (ESS, *energy storage systems*) a gran escala. Dado que las baterías de iones de litio se aplican ampliamente, el rendimiento de ciclo de las baterías de iones de litio se ha convertido en un problema técnico crítico que necesita una solución urgente. Realizar mejoras en los materiales activos en las placas de electrodos es una de las tendencias de investigación para resolver el problema anterior.

La Patente US 2017/033360 A1 se refiere a un procedimiento para preparar partículas carbonosas modificadas en la superficie, en el que dichas partículas carbonosas se recubren con una capa superficial de carbono amorfo mediante la dispersión de material carbonoso con un compuesto anfífilo, el secado por pulverización de la dispersión y la posterior calcinación del material seco. El documento también se refiere a partículas carbonosas modificadas en la superficie recubiertas de carbono amorfo, que pueden obtenerse, por ejemplo, mediante el procedimiento. El documento se refiere, además, a la utilización de las partículas carbonosas modificadas en la superficie en una variedad de aplicaciones técnicas, tales como su utilización como material activo para electrodos negativos de baterías de iones de litio. El documento también se refiere a una escobilla de carbono o a un material compuesto de polímero y, en general, a composiciones que comprenden dichas partículas carbonosas modificadas en la superficie, opcionalmente junto con otros materiales carbonosos o no carbonosos.

La Patente EP 2 560 229 A2 enseña una batería secundaria de litio que comprende un electrodo positivo y un electrodo negativo, cada uno de los cuales tiene una composición específica y propiedades específicas; y un electrolito no acuoso, que contiene un compuesto de siloxano cíclico, un compuesto de fluorosilano, un compuesto que tiene un enlace S-F en la molécula, sal de ácido nítrico, sal de ácido nitroso, sal de ácido monofluorofosfórico, sal de ácido difluorofosfórico, sal de ácido acético o sal de ácido propiónico en una cantidad de 10 ppm o más de todo el electrolito no acuoso. Esta batería secundaria de litio tiene una capacidad elevada, una vida útil larga y un rendimiento elevado.

La Patente US 2015/099180 A1 enseña partículas híbridas de carbono modificadas en la superficie, que tienen un área superficial elevada y un contenido elevado de mesoporos. Las partículas híbridas de carbono modificadas en la superficie pueden utilizarse como aditivos conductores. Las dispersiones de dichos compuestos en un medio líquido en presencia de un surfactante pueden utilizarse como recubrimientos conductores.

En vista de esto, es esencial dar a conocer un material activo de electrodo negativo mejorado, un aparato electroquímico y un aparato electrónico que lo utilicen.

CARACTERÍSTICAS

La presente solicitud da a conocer un material activo de electrodo negativo, un aparato electroquímico y un aparato electrónico que lo utilizan, para resolver, como mínimo, un problema existente en la técnica relacionada en cierta medida. 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 de electrodo negativo, en el que el material activo de electrodo negativo incluye un material de carbono, un grado de grafitización Gr del material de carbono que se mide en un procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 0,82 a 0,92 y, en base a una cantidad total de partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es del 1 % al 10 %, y una proporción de un tamaño de grano de cristal La de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un

eje horizontal medido mediante el procedimiento de análisis por difracción de rayos X, tal como se describe en la descripción, con respecto a un tamaño de grano de cristal L_c de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical medido mediante el procedimiento de análisis por difracción de rayos X, tal como se describe en la descripción, es K , y $4,0 \leq K \times Gr \leq 5,2$.

5

En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr del material de carbono que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 0,85 a 0,90. En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr del material de carbono que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 0,82, 0,83, 0,84, 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,90, 0,91 o 0,92 o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.

10

En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es inferior al 8 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es inferior al 6 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es superior al 1 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es superior al 3 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es superior al 5 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

15

20

25

En esta realización de la presente solicitud, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 50 %, y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 80 %.

30

En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 45 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 40 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es superior al 30 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es superior al 35 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

35

40

En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 75 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 70 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 50 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 55 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 60 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 65 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

45

50

55

Según la presente invención, una proporción de un tamaño de grano de cristal L_a de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X con respecto a un tamaño de grano de cristal L_c de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es K , y Gr y K satisfacen la siguiente relación: $4,0 \leq K \times Gr \leq 5,2$. En algunas realizaciones, Gr y K satisfacen la siguiente relación: $4,2 \leq K \times Gr \leq 5,0$. En algunas realizaciones, Gr y K satisfacen la siguiente relación: $4,5 \leq K \times Gr \leq 4,8$.

60

65

En base a esta realización de la presente solicitud, un tamaño de partícula del material activo de electrodo

negativo satisface la siguiente relación: $35 \mu\text{m} < D_{v99} - D_{v10} < 50 \mu\text{m}$. En algunas realizaciones, un tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface la siguiente relación: $42 \mu\text{m} < D_{v99} - D_{v10} < 48 \mu\text{m}$. En algunas realizaciones, un tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface la siguiente relación: $43 \mu\text{m} < D_{v99} - D_{v10} < 45 \mu\text{m}$.

5 En base a esta realización de la presente solicitud, un espaciado interplanar d_{002} del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d_{002} \geq 0,3365 \text{ nm}$. En algunas realizaciones, un espaciado interplanar d_{002} del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d_{002} \geq 0,3370 \text{ nm}$.
10 En algunas realizaciones, un espaciado interplanar d_{002} del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d_{002} \geq 0,3375 \text{ nm}$. En algunas realizaciones, el espaciado interplanar d_{002} del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es $0,3365 \text{ nm}$, $0,3368 \text{ nm}$, $0,3370 \text{ nm}$, $0,3372 \text{ nm}$ o $0,3375$ o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.

15 En base a esta realización de la presente solicitud, una proporción de un área de pico C004 de un plano cristalino (004) con respecto a un área de pico C110 de un plano cristalino (110) del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 8$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 7,5$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 7$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 6,5$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 6$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 5,5$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \leq 5$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \geq 3$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \geq 3,5$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \geq 4$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C_{004}/C_{110} \geq 4,5$. En algunas implementaciones, C_{004}/C_{110} para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

40 En base a esta realización de la presente solicitud, una capacidad por gramo C mAh/g del material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen las siguientes relaciones: $390\text{Gr} - C \leq 20$ y $C \leq 350$.

45 En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 18$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 15$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 12$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 10$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 8$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 5$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 1$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \geq 3$. En algunas realizaciones, un valor de $390\text{Gr} - C$ se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

55 En algunas realizaciones, $C \leq 340$. En algunas realizaciones, $C \leq 330$. En algunas realizaciones, $C \leq 320$. En algunas realizaciones, $C \leq 310$. En algunas realizaciones, $C \leq 300$. En algunas realizaciones, $C \geq 250$. En algunas realizaciones, $C \geq 280$. En algunas realizaciones, $C \geq 290$. En algunas realizaciones, un valor C de la capacidad por gramo del material activo de electrodo negativo se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

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

65 En base a esta realización de la presente solicitud, una densidad compactada PD g/cm^3 de la capa de

material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen la siguiente relación: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,85$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,80$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,75$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,70$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,65$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,60$.

En base a esta realización de la presente solicitud, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es de $1,45 \text{ g/cm}^3$ a $1,75 \text{ g/cm}^3$. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es de $1,50 \text{ g/cm}^3$ a $1,70 \text{ g/cm}^3$. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es de $1,55 \text{ g/cm}^3$ a $1,65 \text{ g/cm}^3$. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es $1,45 \text{ g/cm}^3$, $1,50 \text{ g/cm}^3$, $1,55 \text{ g/cm}^3$, $1,60 \text{ g/cm}^3$, $1,65 \text{ g/cm}^3$, $1,70 \text{ g/cm}^3$ o $1,75 \text{ g/cm}^3$ o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.

En base a esta realización de la presente solicitud, una proporción C004'/C110' de un área de pico C004' de un plano (004) con respecto a un área de pico C110' de un plano (110) de la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 7 a 18. En algunas realizaciones, C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 10 a 16. En algunas realizaciones, C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 12 a 15. En algunas realizaciones, C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 7, 10, 12, 14, 16 o 18 o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.

En base a esta realización de la presente solicitud, una proporción I_d/I_g de una intensidad de pico I_d de la capa de material activo de electrodo negativo a de 1340 cm^{-1} a 1380 cm^{-1} con respecto a una intensidad de pico I_g de la capa de material activo de electrodo negativo a de 1560 cm^{-1} a 1600 cm^{-1} medida en un procedimiento de espectroscopía Raman es de 0,2 a 0,5. En algunas realizaciones, la I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de espectroscopía Raman es de 0,25 a 0,45. En algunas realizaciones, la I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de espectroscopía Raman es de 0,3 a 0,4. En algunas realizaciones, la I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de espectroscopía Raman es 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,45 o 0,5 o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.

Según aún otro aspecto de la presente solicitud, la presente solicitud da a conocer un aparato electrónico, que incluye el aparato electroquímico según la presente solicitud.

Los aspectos y ventajas adicionales de la presente solicitud se describen y presentan parcialmente en la descripción posterior, o se explican mediante la implementación de las realizaciones de la presente solicitud.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS

En la presente memoria descriptiva, los dibujos que son cruciales para describir las realizaciones de la presente solicitud o del estado de la técnica anterior se describirán brevemente para describir las realizaciones de la presente solicitud. Obviamente, los dibujos de la siguiente descripción son solo para algunas de las realizaciones de la presente solicitud. Para los expertos en la materia, los dibujos de otras realizaciones aún se pueden obtener sin trabajo creativo basándose en las estructuras ilustradas en estos dibujos.

La figura 1 es un diagrama de microscopio electrónico de barrido (SEM, *scanning electron microscope*) de un material activo de electrodo negativo utilizado en el ejemplo 3 de la presente solicitud.

La figura 2 muestra la morfología mediante SEM de una partícula con una relación de aspecto de aproximadamente 5,0 en un material de carbono utilizado en el ejemplo 3 de la presente solicitud.

La figura 3 muestra la morfología mediante SEM de una partícula con una relación de aspecto de aproximadamente 2,5 en un material de carbono utilizado en el ejemplo 3 de la presente solicitud.

La figura 4 muestra la morfología mediante SEM de una partícula con una relación de aspecto de aproximadamente 1,5 en un material de carbono utilizado en el ejemplo 3 de la presente solicitud.

La figura 5 muestra la morfología mediante SEM de una partícula con una relación de aspecto de aproximadamente 1,0 en un material de carbono utilizado en el ejemplo 3 de la presente solicitud.

La figura 6 es un gráfico de curva de una tasa de retención de capacidad posterior al ciclado con una cantidad de ciclos según el ejemplo comparativo 2 y el ejemplo 1 de la presente solicitud.

La figura 7 es un gráfico de curva de una tasa de rebote del grosor con una cantidad de ciclos según el ejemplo comparativo 2 y el ejemplo 1 de la presente solicitud.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

A continuación, se describen en detalle las realizaciones de la presente solicitud. En esta memoria descriptiva de la presente solicitud, los componentes iguales o similares y los componentes con funciones iguales o similares se indican mediante signos de referencia similares. Las realizaciones relacionadas de los dibujos descritos en el presente documento son ilustrativas, esquemáticas y se utilizan para proporcionar una comprensión básica de la presente solicitud. Las realizaciones de la presente solicitud no se deben interpretar como una limitación de la presente solicitud.

En la descripción de realizaciones y reivindicaciones, una lista de elementos precedida por el término de "como mínimo, un tipo de" puede significar cualquier combinación de los elementos enumerados. Por ejemplo, si se enumeran los elementos A y B, la frase "como mínimo, un tipo de A y B" significa que solo existe A, solo existe B o existen A y B. En otro caso, si se enumeran los elementos A, B y C, la frase "como mínimo, un tipo de A, B y C" significa que solo existe A; solo existe B; solo existe C; existen A y B (excluyendo C); existen A y C (excluyendo B); existen B y C (excluyendo A); o existen todos A, B y C. El elemento A puede incluir un elemento o una pluralidad de elementos. El elemento B puede incluir un elemento o una pluralidad de elementos. El elemento C puede incluir un elemento o una pluralidad de elementos.

Como los aparatos electroquímicos (por ejemplo, baterías de iones de litio) se aplican ampliamente, los requisitos para el rendimiento de los aparatos electroquímicos aumentan continuamente. El rendimiento de ciclo es un indicador clave para evaluar el rendimiento de las baterías de iones de litio. Mejorar un material activo en una placa de electrodo a través de la selección de materia prima, el control del proceso de granulación y el recubrimiento de la superficie puede mejorar el rendimiento de ciclo de una batería de iones de litio hasta cierto punto, lo que ya no puede satisfacer las crecientes demandas del mercado.

En la presente solicitud, se ajustan un grado de grafitización del material activo de electrodo negativo y una relación de aspecto y distribución de partículas, para resolver el problema anterior. De manera específica, la presente solicitud da a conocer un material activo de electrodo negativo, el material activo de electrodo negativo incluye un material de carbono, un grado de grafitización Gr del material de carbono que se mide en un procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 0,82 a 0,92 y, en base a una cantidad total de partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es inferior al 10 %.

Tal como se utiliza en esta memoria descriptiva, la "relación de aspecto" del material de carbono es una relación entre el diámetro más largo que pasa a través del interior de la partícula del material de carbono y el diámetro más largo (es decir, el diámetro ancho) perpendicular al mismo. La relación de aspecto del material de carbono se puede obtener a través del análisis de imágenes de partículas dinámicas (por ejemplo, utilizando el analizador de imágenes de partículas dinámicas QICPIC de Sympatec). En un proceso de preparación del material activo de electrodo negativo, la relación de aspecto del material de carbono se puede controlar por grado. Cuando la relación de aspecto del material de carbono es relativamente pequeña, la partícula del material de carbono tiene una forma alargada. Cuando la relación de aspecto del material de carbono está más cerca de 1, indica que un diámetro largo y un diámetro ancho de la partícula del material de carbono están más cerca, es decir, una forma de la partícula del material de carbono está más cerca de un cuadrado o un círculo. La figura 1 es un diagrama de microscopio electrónico de barrido (SEM) de un material de carbono utilizado en el ejemplo 3 de la presente solicitud. Una partícula con una relación de aspecto de aproximadamente 5,0 tiene una forma alargada y tiene una morfología que se muestra en la figura 2. Una partícula esférica del material de carbono tiene un área de superficie específica relativamente pequeña, consume menos solución electrolítica y tiene un grado de orientación bajo en el electrodo negativo, lo que facilita la infiltración de la solución electrolítica y mejora el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico.

Tal como se utiliza en esta memoria descriptiva, el "grado de grafitización" del material de carbono es un grado de transformación del carbono no grafitico en el material de carbono en carbono similar al grafito a alta temperatura o durante el calentamiento secundario. Cuando el material de carbono tiene un grado de grafitización relativamente alto (por ejemplo, mayor que 0,92), se reduce un espaciamiento interplanar d002 del material de carbono, lo que no favorece la desintercalación de iones de litio del material de carbono. Cuando el material de carbono tiene un grado de grafitización relativamente bajo (por ejemplo, menor que 0,92), hay una gran cantidad de enlaces SP³ en el material de carbono, y las capas del material de carbono se restringen mutuamente, lo que hace que la estructura del material de carbono sea más estable.

En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr del material de carbono que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 0,85 a 0,90. En algunas realizaciones, el grado de grafitización Gr del material de carbono que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de 0,82, 0,83, 0,84, 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,90, 0,91 o 0,92 o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.

En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es inferior al 8 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es inferior al 6 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es superior al 1 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es superior al 3 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es superior al 5 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

Cuando el material de carbono en el material activo de electrodo negativo satisface tanto el grado de grafitización como la proporción de partículas con una relación de aspecto específica, el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico puede mejorarse de manera significativa y la vida útil del aparato electroquímico puede prolongarse.

En esta realización de la presente solicitud, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 50 %, y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 80 %. Tal como se muestra en la figura 3, una partícula con una relación de aspecto de aproximadamente 2,5 tiene forma de esferoide. Tal como se muestra en la figura 4 y la figura 5, las formas de partículas con relaciones de aspecto de aproximadamente 1,5 y 1,0 son cercanas a una esfera. Cuando la relación de aspecto del material de carbono es relativamente pequeña, las áreas de contacto de las partículas del material de carbono se distribuyen de manera más uniforme, lo que ayuda a que la solución electrolítica se infiltre en la capa de material activo de electrodo negativo. La utilización de partículas con diferentes formas puede mejorar aún más de manera colaborativa el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico.

En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 45 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 40 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es superior al 30 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es superior al 35 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 75 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 70 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 50 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 55 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 60 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es superior al 65 %. En algunas realizaciones, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

Según la presente invención, una proporción de un tamaño de grano de cristal La de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X con respecto a un tamaño de grano de cristal Lc de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es K, y Gr y K satisfacen la siguiente relación: $4,0 \leq K \times Gr \leq 5,2$. En algunas realizaciones, Gr y K satisfacen la siguiente relación: $4,2 \leq K \times Gr \leq 5,0$. En algunas realizaciones, Gr y K satisfacen la siguiente relación: $4,5 \leq K \times Gr \leq 4,8$. Cuando la proporción K del tamaño de grano de cristal La con respecto al tamaño de grano de

crystal Lc del material de carbono y el grado de grafitización Gr satisfacen la relación anterior, el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico se puede mejorar aún más.

5 En base a esta realización de la presente solicitud, un tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface la siguiente relación: $35 \mu\text{m} < \text{Dv99} - \text{Dv10} < 50 \mu\text{m}$. En algunas realizaciones, un tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface la siguiente relación: $42 \mu\text{m} < \text{Dv99} - \text{Dv10} < 48 \mu\text{m}$. En algunas realizaciones, un tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface la siguiente relación: $43 \mu\text{m} < \text{Dv99} - \text{Dv10} < 45 \mu\text{m}$. Cuando Dv99 y Dv10 se controlan para cumplir con la relación anterior al controlar el tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo, el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico se puede mejorar aún más.

15 En base a esta realización de la presente solicitud, un espaciado interplanar d002 del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d002 \geq 0,3365 \text{ nm}$. En algunas realizaciones, un espaciado interplanar d002 del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d002 \geq 0,3370 \text{ nm}$. En algunas realizaciones, un espaciado interplanar d002 del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d002 \geq 0,3375 \text{ nm}$. En algunas realizaciones, el espaciado interplanar d002 del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es de $0,3365 \text{ nm}$, $0,3368 \text{ nm}$, $0,3370 \text{ nm}$, $0,3372 \text{ nm}$ o $0,3375$ o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores. Cuando el espaciado interplanar d002 del material activo de electrodo negativo se encuentra dentro del intervalo anterior, los iones de litio pueden desintercalarse rápidamente y se puede reducir el daño a la capa de material activo de electrodo negativo, mejorando así aún más el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico.

25 En base a esta realización de la presente solicitud, una proporción de un área de pico C004 de un plano cristalino (004) con respecto a un área de pico C110 de un plano cristalino (110) del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 8$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 7,5$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 7$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 6,5$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 < 6$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 5,5$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 5$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \geq 3$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \geq 3,5$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \geq 4$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \geq 4,5$. En algunas implementaciones, $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.

50 Un valor de $C004/C110$ puede reflejar la orientación de un material. Un valor menor de $C004/C110$ conduce a una mayor isotropía del material; y un valor mayor de $C004/C110$ conduce a una mayor anisotropía del material. Cuando el valor de $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo es relativamente grande, los iones de litio en el material activo de electrodo negativo se desintercalan en una dirección y, por lo tanto, las trayectorias de desintercalación de los iones de litio se vuelven más largas, lo que no favorece una desintercalación rápida de los iones de litio, provocando un impacto adverso en el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico. Cuando el valor de $C004/C110$ para el material activo de electrodo negativo se encuentra dentro del intervalo anterior, en un proceso de ciclo, los iones de litio pueden intercalarse o desintercalarse en varias direcciones, lo que reduce las trayectorias de difusión de los iones de litio y la pérdida de iones de litio activos, mejorando así aún más el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico.

60 En base a esta realización de la presente solicitud, una capacidad por gramo C mAh/g del material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen las siguientes relaciones: $390\text{Gr} - C \leq 20$ y $C \leq 350$.

65 En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 18$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr} - C \leq 15$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente

- relación: $390\text{Gr}-\text{C}\leq 12$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr}-\text{C}\leq 15$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr}-\text{C}\leq 10$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr}-\text{C}\leq 8$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr}-\text{C}\leq 5$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr}-\text{C}\leq 1$. En algunas realizaciones, C y Gr satisfacen la siguiente relación: $390\text{Gr}-\text{C}> 3$. En algunas realizaciones, un valor de $390\text{Gr}-\text{C}$ se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.
- En algunas realizaciones, $\text{C}\leq 340$. En algunas realizaciones, $\text{C}\leq 330$. En algunas realizaciones, $\text{C}\leq 320$. En algunas realizaciones, $\text{C}\leq 310$. En algunas realizaciones, $\text{C}\leq 300$. En algunas realizaciones, $\text{C}> 250$. En algunas realizaciones, $\text{C}> 280$. En algunas realizaciones, $\text{C}> 290$. En algunas realizaciones, un valor C de la capacidad por gramo del material activo de electrodo negativo se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores de punto final anteriores.
- Cuando el valor C de la capacidad por gramo del material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen la relación anterior, el material activo de electrodo negativo puede tener un rendimiento equilibrado, mejorando así aún más el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico.
- La presente solicitud da a conocer, además, un aparato electroquímico, y el aparato electroquímico incluye un electrodo positivo, un electrodo negativo, un separador y una solución electrolítica. El electrodo positivo, el electrodo negativo, el separador y la solución electrolítica aplicables a la presente solicitud se describen a continuación.
- Electrodo negativo
- El electrodo negativo utilizado en el aparato electroquímico en la presente solicitud incluye un colector de corriente de electrodo negativo y una capa de material activo de electrodo negativo, y la capa de material activo de electrodo negativo incluye el material activo de electrodo negativo según la presente solicitud.
- En base a esta realización de la presente solicitud, una densidad compactada PD g/cm^3 de la capa de material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen la siguiente relación: $\text{PD}\leq 2,5\text{Gr}-0,45\leq 1,85$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $\text{PD}\leq 2,5\text{Gr}-0,45\leq 1,80$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $\text{PD}\leq 2,5\text{Gr}-0,45\leq 1,75$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $\text{PD}\leq 2,5\text{Gr}-0,45\leq 1,70$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $\text{PD}\leq 2,5\text{Gr}-0,45\leq 1,65$. En algunas realizaciones, PD y Gr satisfacen la siguiente relación: $\text{PD}\leq 2,5\text{Gr}-0,45\leq 1,60$.
- En base a esta realización de la presente solicitud, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es de $1,45 \text{ g}/\text{cm}^3$ a $1,75 \text{ g}/\text{cm}^3$. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es de $1,50 \text{ g}/\text{cm}^3$ a $1,70 \text{ g}/\text{cm}^3$. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es de $1,55 \text{ g}/\text{cm}^3$ a $1,65 \text{ g}/\text{cm}^3$. En algunas realizaciones, una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es $1,45 \text{ g}/\text{cm}^3$, $1,50 \text{ g}/\text{cm}^3$, $1,55 \text{ g}/\text{cm}^3$, $1,60 \text{ g}/\text{cm}^3$, $1,65 \text{ g}/\text{cm}^3$, $1,70 \text{ g}/\text{cm}^3$ o $1,75 \text{ g}/\text{cm}^3$ o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores.
- Cuando la densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo es excesivamente alta, la solución electrolítica es menos propensa a infiltrarse en el material activo de electrodo negativo, lo que no favorece la participación rápida de los iones de litio en una reacción electroquímica, lo que provoca un impacto adverso en el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio. Cuando la densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización del material de carbono satisfacen la relación anterior, o la densidad compactada del material activo de electrodo negativo se encuentra dentro del intervalo anterior, el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico se puede mejorar aún más.
- En base a esta realización de la presente solicitud, una proporción C004'/C110' de un área de pico C004' de un plano (004) con respecto a un área de pico C110' de un plano (110) de la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X se encuentra dentro de un intervalo de 7 a 18. En algunas realizaciones, C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X se encuentra dentro de un intervalo de 10 a 16. En algunas realizaciones, C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X se encuentra dentro de un intervalo de 12 a 15. En algunas realizaciones, C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es 7, 10, 12, 14, 16, 18 o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores. Cuando C004'/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo se encuentra dentro del intervalo anterior, el rendimiento

de ciclo del aparato electroquímico se puede mejorar aún más.

En base a esta realización de la presente solicitud, una proporción I_d/I_g de una intensidad de pico I_d de la capa de material activo de electrodo negativo a de 1340 cm^{-1} a 1380 cm^{-1} con respecto a una intensidad de pico I_g de la capa de material activo de electrodo negativo a de 1560 cm^{-1} a 1600 cm^{-1} medida en un procedimiento de espectroscopía Raman es de 0,2 a 0,5. En algunas realizaciones, la I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de espectroscopía Raman es de 0,25 a 0,45. En algunas realizaciones, la I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de espectroscopía Raman es de 0,3 a 0,4. En algunas realizaciones, la I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de espectroscopía Raman es 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,45 o 0,5 o se encuentra dentro de un intervalo definido por dos cualesquiera de los valores anteriores. La I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo puede reflejar un grado de defecto superficial de la capa de material activo de electrodo negativo. Cuando la I_d/I_g es excesivamente pequeña, hay una pequeña cantidad de defectos superficiales en la capa de material activo de electrodo negativo y las escamas de grafito están dispuestas de forma compacta y regular. Cuando la I_d/I_g es excesivamente grande, hay una gran cantidad de defectos superficiales en la capa de material activo de electrodo negativo, lo que afecta a la estabilidad de una película de electrolito sólido (película SEI). Cuando el grado de defecto superficial I_d/I_g de la capa de material activo de electrodo negativo se encuentra dentro del intervalo anterior, hay una cantidad moderada de defectos superficiales en la capa de material activo de electrodo negativo, lo que garantiza la intercalación o desintercalación de los iones de litio y la estabilidad de la película SEI, ayudando así a mejorar el rendimiento de ciclo del aparato electroquímico.

El colector de corriente de electrodo negativo aplicado a la presente solicitud puede seleccionarse entre una lámina de cobre, una lámina de níquel, una lámina de acero inoxidable, una lámina de titanio, espuma de níquel, espuma de cobre, un sustrato de polímero recubierto con un metal conductor y una combinación de los mismos.

En base a esta realización de la presente solicitud, el electrodo negativo incluye, además, una capa conductora. En algunas implementaciones, el material conductor de la capa conductora puede incluir cualquier material conductor siempre que el material conductor no provoque un cambio químico. Entre los ejemplos no limitantes de los materiales conductores se incluyen un material a base de carbono (por ejemplo, grafito natural, grafito artificial, negro de carbono, negro de acetileno, negro de Ketjen, fibra de carbono, nanotubos de carbono o grafeno), un material a base de metal (por ejemplo, polvo de metal o fibra de metal, tal como cobre, níquel, aluminio y plata), un polímero conductor (por ejemplo, derivado de polifenileno) y una mezcla de los mismos.

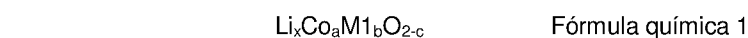
En base a una realización de la presente solicitud, el electrodo negativo incluye, además, un aglutinante, y el aglutinante se selecciona entre, como mínimo, uno de los siguientes: alcohol polivinílico, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, diacetilcelulosa, cloruro de polivinilo, cloruro de polivinilo 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 y nailon.

Electrodo positivo

El electrodo positivo incluye un colector de corriente de electrodo positivo y un material activo de electrodo positivo dispuesto sobre el colector de corriente de electrodo positivo. El material activo de electrodo positivo no está limitado a un tipo específico y puede seleccionarse en función de las demandas.

En algunas implementaciones, el material activo de electrodo positivo incluye un material de electrodo positivo capaz de absorber y liberar litio (Li). Entre los ejemplos de materiales del electrodo positivo capaces de absorber o liberar litio (Li) se pueden incluir óxido de cobalto y litio, manganato de litio, níquel y cobalto, aluminato de litio, níquel y cobalto, óxido de manganato de litio, fosfato de litio, manganeso y hierro, fosfato de litio y vanadio, vanadilfosfato de litio, fosfato de litio y hierro, titanato de litio y un material a base de manganeso rico en litio.

De manera específica, una fórmula química de óxido de cobalto y litio puede ser una fórmula química 1:



M_1 se selecciona entre, como mínimo, uno de níquel (Ni), manganeso (Mn), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), cinc (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 , respectivamente, se encuentran dentro de los siguientes intervalos: $0,8 \leq x \leq 1,2$, $0,8 \leq a \leq 1$, $0 \leq b \leq 0,2$ y $-0,1 \leq c \leq 0,2$.

ES 2 999 668 T3

Una fórmula química de manganato de litio, níquel y cobalto o aluminato de litio, níquel y cobalto puede ser una fórmula química 2:



5

M2 se selecciona entre, como mínimo, uno de cobalto (Co), manganeso (Mn), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), cinc (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, respectivamente, se encuentran dentro de los siguientes intervalos: $0,8 \leq y \leq 1,2$, $0,3 \leq d \leq 0,98$, $0,02 \leq e \leq 0,7$ y $-0,1 \leq f \leq 0,2$.

10

Una fórmula química de óxido de manganato de litio puede ser una fórmula química 3:



15

M3 se selecciona entre, como mínimo, uno de cobalto (Co), níquel (Ni), magnesio (Mg), aluminio (Al), boro (B), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), hierro (Fe), cobre (Cu), cinc (Zn), molibdeno (Mo), estaño (Sn), calcio (Ca), estroncio (Sr) y tungsteno (W), y los valores de z, g y h, respectivamente, se encuentran dentro de los siguientes intervalos: $0,8 \leq z \leq 1,2$, $0 \leq g \leq 1,0$ y $-0,2 < h < 0,2$.

20

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

25

En algunas realizaciones, puede haber un recubrimiento sobre una superficie de la capa de material activo de electrodo positivo, o la capa de material activo de electrodo positivo puede estar mezclada con otro compuesto con un recubrimiento. El recubrimiento puede incluir, como mínimo, un compuesto de elemento de recubrimiento seleccionado entre óxido de un elemento de recubrimiento, hidróxido del elemento de recubrimiento, oxihidróxidos del elemento de recubrimiento, oxicarbonato (oxicarbonato) del elemento de recubrimiento e hidroxicarbonato (hidroxicarbonato) del elemento de recubrimiento. El compuesto aplicado al 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, F o una mezcla de los mismos. El recubrimiento puede aplicarse mediante cualquier procedimiento con la condición de que el procedimiento no provoque un impacto adverso en el rendimiento del material activo de electrodo positivo. Por ejemplo, el procedimiento puede incluir cualquier procedimiento de recubrimiento conocido por expertos en la materia, tal como pulverización o inmersión.

30

35

40

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

45

El aglutinante puede mejorar la unión entre partículas del material activo de electrodo positivo y mejorar aún más la unión entre el material activo de electrodo positivo y el colector de corriente. Entre los ejemplos no limitantes del aglutinante se incluyen: 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.

50

La capa de material activo de electrodo positivo incluye un material conductor de electrodo positivo, de modo que el electrodo sea conductor. El material conductor de electrodo positivo puede incluir cualquier material conductor siempre que el material conductor de electrodo positivo no provoque un cambio químico. Entre los ejemplos no limitantes del material conductor de electrodo positivo se incluyen: un material a base de carbono (por ejemplo, grafito natural, grafito artificial, negro de carbono, negro de acetileno, negro de Ketjen y fibra de carbono), un material a base de metal (por ejemplo, polvo de metal y fibra de metal, incluyendo cobre, níquel, aluminio, plata y similares), un polímero conductor (por ejemplo, un derivado de polifenileno) y cualquier mezcla de los mismos.

55

60

El colector de corriente de electrodo positivo aplicado al aparato electroquímico, según la presente solicitud, puede ser, pero no se limita al mismo, aluminio (Al).

Solución electrolítica

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

- 5 El electrolito en la solución electrolítica aplicable a esta realización de la presente solicitud incluye, pero sin limitarse a los mismos: sal de litio inorgánica, tal como LiClO_4 , LiAsF_6 , LiPF_6 , LiBF_4 , LiSbF_6 , LiSO_3F o $\text{LiN}(\text{FSO}_2)_2$; sal orgánica de litio que contiene flúor, tal como 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-hexafluoropropano disulfonilimida cíclica de litio, 1,2-tetrafluoroetano disulfonilimida cíclica de litio, $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)(\text{C}_4\text{F}_9\text{SO}_2)$, $\text{LiC}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$, $\text{LiPF}_4(\text{CF}_3)_2$, $\text{LiPF}_4(\text{C}_2\text{F}_5)_2$, $\text{LiPF}_4(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$, $\text{LiPF}_4(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$, $\text{LiBF}_2(\text{CF}_3)_2$, $\text{LiBF}_2(\text{C}_2\text{F}_5)_2$, $\text{LiBF}_2(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ o $\text{LiBF}_2(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$; o sal de litio que contiene un complejo de ácido dicarboxílico, tal como bis(oxalato)borato de litio, difluoro(oxalato)borato de litio, tris(oxalato)fosfato de litio, difluorobis(oxalato)fosfato de litio o tetrafluoro(oxalato)fosfato de litio. Además, uno de los electrolitos anteriores puede utilizarse solo, o dos o más de los electrolitos anteriores pueden utilizarse juntos. En algunas realizaciones, el electrolito incluye una combinación de LiPF_6 y LiBF_4 . En algunas realizaciones, el electrolito incluye una combinación de la sal de litio inorgánica, tal como LiPF_6 o LiBF_4 , y la sal de litio orgánica que contiene flúor, tal como LiCF_3SO_3 , $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ o $\text{LiN}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$. En algunas realizaciones, el electrolito incluye LiPF_6 .
- 10
- 15
- 20 En algunas realizaciones, una concentración del electrolito se encuentra dentro de un intervalo de 0,8 mol/l a 3 mol/l, tal como un intervalo de 0,8 mol/l a 2,5 mol/l, un intervalo de 0,8 mol/l a 2 mol/l, un intervalo de 1 mol/l a 2 mol/l, para otro ejemplo, 1 mol/l, 1,15 mol/l, 1,2 mol/l, 1,5 mol/l, 2 mol/l o 2,5 mol/l.
- 25 Entre los disolventes aplicables a la solución electrolítica en esta realización de la presente solicitud se incluyen, pero sin limitarse a los mismos, carbonato cíclico, carbonato lineal, éster de ácido carboxílico cíclico, éster de ácido carboxílico en cadena, éter cíclico, éter en cadena, un disolvente orgánico que contenga fósforo, un disolvente orgánico que contenga azufre y un disolvente aromático que contenga flúor.
- 30 En algunas realizaciones, el carbonato cíclico incluye, pero sin limitarse a los mismos, carbonato de etileno (carbonato de etileno, EC), carbonato de propileno (carbonato de propileno, PC) y carbonato de butileno.
- En algunas realizaciones, el carbonato cíclico tiene de 3 a 6 átomos de carbono.
- 35 En algunas realizaciones, el carbonato lineal incluye, pero sin limitarse a los mismos, carbonato de dimetilo, carbonato de etilo y metilo, carbonato de dietilo (carbonato de dietilo, DEC), carbonato de metilo y n-propilo, carbonato de etilo y n-propilo, carbonato de di-n-propilo y carbonato lineal sustituido por 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-trifluoroetilo), carbonato de metilo y 2-fluoroetilo, carbonato de metilo y 2,2-difluoroetilo y carbonato de metilo y 2,2,2-trifluoroetilo.
- 40
- 45 En algunas realizaciones, el carboxilato cíclico incluye, pero sin limitarse a los mismos, γ -butirolactona y γ -valerolactona. En algunas realizaciones, algunos átomos de hidrógeno del carboxilato cíclico pueden sustituirse por flúor.
- 50 En algunas realizaciones, el carboxilato lineal incluye, pero sin limitarse a los mismos: acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de propilo, acetato de isopropilo, acetato de butilo, acetato de sec-butilo, acetato de isobutilo, éster butílico de acetato terciario, propionato de metilo, propionato de etilo, propionato de propilo, 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, algunos átomos de hidrógeno del carboxilato lineal pueden estar sustituidos por flúor. En algunas realizaciones, el carboxilato lineal sustituido por flúor incluye, pero sin limitarse a los mismos: trifluoroacetato de metilo, trifluoroacetato de etilo, trifluoroacetato de propilo, trifluoroacetato de butilo y trifluoroacetato de 2,2,2-trifluoroetilo.
- 55
- 60 En algunas realizaciones, el éter cíclico incluye, pero sin limitarse a los mismos, tetrahidrofurano, 2-metiltetrahidrofurano, 1,3-dioxolano, 2-metil-1,3-dioxolano, 4-metil-1,3-dioxolano, 1,3-dioxano, 1,4-dioxano y dimetoxipropano.
- En algunas realizaciones, el éter de cadena incluye, pero sin limitarse a los mismos, dimetoximetano, 1,1-dimetoxietano, 1,2-dimetoxietano, dietoximetano, 1,1-dietoxietano, 1,2-dietoxietano, etoximetoximetano, 1,1-etoximetoxietano y 1,2-etoximetoxietano.
- 65 En algunas realizaciones, el disolvente orgánico que contiene fósforo incluye, pero sin limitarse a los mismos, fosfato de trimetilo, fosfato de trietilo, fosfato de dimetilo y etilo, fosfato de metilo y dietilo, fosfato de etileno y metilo, fosfato de etileno y etilo, fosfato de trifenilo, fosfito de trimetilo, fosfito de trietilo, fosfito de trifenilo, fosfato de tris(2,2,2-trifluoroetilo) y fosfato de tris(2,2,3,3,3-pentafluoropropilo).

En algunas realizaciones, el disolvente orgánico que contiene azufre incluye, pero sin limitarse a los mismos, sulfolano, 2-metil sulfolano, 3-metil sulfolano, dimetil sulfona, dietil sulfona, etil metil sulfona, metil propil sulfona, sulfóxido de dimetilo, metanosulfonato de metilo, metanosulfonato de etilo, etanosulfonato de metilo, etanosulfonato de etilo, sulfato de dimetilo, sulfato de dietilo y sulfato de dibutilo. En algunas realizaciones, algunos átomos de hidrógeno del disolvente orgánico que contiene azufre pueden sustituirse por flúor.

En algunas realizaciones, el disolvente aromático que contiene flúor incluye, pero sin limitarse a los mismos, fluorobenceno, difluorobenceno, trifluorobenceno, tetrafluorobenceno, pentafluorobenceno, hexafluorobenceno y trifluorometilbenceno.

En algunas realizaciones, el disolvente utilizado en la solución electrolítica en la presente solicitud incluye uno o más de los disolventes anteriores. En algunas realizaciones, el disolvente utilizado en la solución electrolítica en la presente solicitud incluye carbonato cíclico, carbonato lineal, carboxilato cíclico, carboxilato lineal y una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, los disolventes utilizados en la solución electrolítica en la presente solicitud incluyen un grupo de disolventes orgánicos seleccionados entre las siguientes sustancias: carbonato de etileno, carbonato de propileno, carbonato de dietilo, propionato de etilo, propionato de propilo, acetato de n-propilo, acetato de etilo y una combinación de los mismos. En algunas realizaciones, el disolvente utilizado en la solución electrolítica en la presente solicitud incluye: carbonato de etileno, carbonato de propileno, carbonato de dietilo, propionato de etilo, propionato de propilo, γ -butirolactona o una combinación de los mismos.

Entre los aditivos en la solución electrolítica aplicables a esta realización de la presente solicitud se incluyen, pero sin limitarse a los mismos, un compuesto con 2 o 3 grupos ciano, carbonato cíclico que contiene un doble enlace carbono-carbono, un compuesto que contiene un doble enlace azufre-oxígeno y difluorofosfato de litio.

En algunas realizaciones, el compuesto con 2 o 3 grupos ciano puede incluir, como mínimo, uno de succinonitrilo (SN), adiponitrilo (ADN), etilenglicol bis(propionitril) éter (EDN), 1,3,5-pentanotricarbonitrilo, 1,2,3-propanotricarbonitrilo, hexano-1,3,6-tricarbonitrilo (HTCN), hexano-1,2,6-tricarbonitrilo, 1,2,3-tris(2-cianoetoxi)propano (TCEP) o 1,2,4-tris(2-cianoetoxi)butano.

En algunas realizaciones, el carbonato cíclico que contiene un doble enlace carbono-carbono incluye específicamente, pero sin limitarse a los mismos, como mínimo, uno de carbonato de vinileno, carbonato de metilvinileno, carbonato de etilvinileno, carbonato de viniletileno o carbonato de 1,2-dimetilvinileno.

En algunas realizaciones, el compuesto que contiene un doble enlace azufre-oxígeno incluye, pero sin limitarse a los mismos, como mínimo, uno de sulfato de vinilo, sulfato de 1,2-propanodiol, 1,3-propano sultona, 1-fluoro-1,3-propano sultona, 2-fluoro-1,3-propano sultona o 3-fluoro-1,3-propano sultona.

Separador

En algunas implementaciones, se proporciona un separador entre el electrodo positivo y el electrodo negativo para evitar cortocircuitos. El separador utilizado en esta realización de la presente solicitud no está particularmente limitado a ningún material o forma, y puede basarse en cualquier tecnología dada a conocer en el estado de la técnica anterior. En algunas implementaciones, el separador incluye un polímero o una sustancia inorgánica formada por un material estable de la solución electrolítica en la presente solicitud.

Por ejemplo, el separador puede incluir una capa de sustrato y una capa de tratamiento de superficie. La capa de sustrato es una tela no tejida, una membrana o una membrana compuesta que tiene una estructura porosa, y un material de la capa de sustrato se selecciona entre, como mínimo, uno de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y poliimida. De manera específica, se puede seleccionar una membrana porosa de polipropileno, una membrana porosa de polietileno, una tela no tejida de polipropileno, una tela no tejida de polietileno o una membrana 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 adhesión entre el separador y la placa de electrodos.

La capa de tratamiento de superficie se proporciona sobre, como mínimo, una superficie de la capa de sustrato, y la capa de tratamiento de superficie puede ser una capa de polímero o una capa inorgánica, o puede ser una capa formada mezclando el polímero y la sustancia inorgánica.

La capa inorgánica incluye partículas inorgánicas y un aglutinante. Las partículas inorgánicas se seleccionan entre uno o una combinación de óxido de aluminio, óxido de silicio, óxido de magnesio, óxido de titanio, óxido de hafnio, óxido de estaño, óxido de cerio, óxido de níquel, óxido de cinc, 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 entre uno o una combinación de un fluoruro de polivinilideno, un

copolímero de fluoruro de vinilideno-hexafluoropropileno, una poliamida, un poliacrilonitrilo, un poliacrilato, un ácido poliacrílico, un poliacrilato, una polivinilpirrolidona, un polivinil éter, un metacrilato de polimetilo, un politetrafluoroetileno y un polihexafluoropropileno.

- 5 La capa de polímero incluye un polímero, y un material del polímero se selecciona entre, como mínimo, uno de poliamida, poliacrilonitrilo, polímero de acrilato, ácido poliacrílico, poliacrilato, polivinilpirrolidona, polivinil éter, fluoruro de polivinilideno y poli(fluoruro de vinilideno-hexafluoropropileno).

Aparato electroquímico

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

- El aparato electroquímico, según la presente solicitud, incluye cualquier aparato en el que tenga lugar una reacción electroquímica. Entre los ejemplos específicos del aparato se incluyen todo tipo de baterías
20 primarias, baterías secundarias, pilas de combustible, baterías solares o condensadores. En particular, el aparato electroquímico es una batería secundaria de litio, incluyendo una batería secundaria de metal de 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.

Aparato electrónico

- La presente solicitud también da a conocer un aparato electrónico, que incluye el aparato electroquímico según la presente solicitud.

- 30 El aparato electroquímico, según la presente solicitud, no está particularmente limitado a ningún propósito, y puede ser cualquier aparato electrónico conocido en el estado de la técnica anterior. En algunas implementaciones, el aparato electroquímico en la presente solicitud puede aplicarse a, pero sin limitarse a los mismos, un ordenador portátil, un ordenador con entrada de lápiz, un ordenador móvil, un reproductor de libros electrónicos, un teléfono móvil, un fax portátil, una fotocopiadora portátil, una impresora portátil, unos auriculares, una grabadora de vídeo, un televisor de cristal líquido, un limpiador portátil, un reproductor de CD
35 portátil, un minidisco, un transceptor, un cuaderno electrónico, una calculadora, una tarjeta de almacenamiento, una grabadora portátil, una radio, una fuente de alimentación de reserva, un motor, un automóvil, una motocicleta, una bicicleta a motor, una bicicleta, un aparato de iluminación, un juguete, una consola de juegos, un reloj, una herramienta eléctrica, una lámpara de flash, una cámara, una batería doméstica grande y un condensador de iones de litio.

- A continuación, se describe la preparación de una batería de iones de litio basándose en ejemplos específicos utilizando la batería de iones de litio como ejemplo. Los expertos en la materia entenderán que el procedimiento de preparación descrito en la presente solicitud es solo un ejemplo y que cualquier otro
45 procedimiento de preparación adecuado se encuentra dentro del alcance de la presente solicitud.

Ejemplos

- A continuación, se describen ejemplos y ejemplos comparativos de la batería de iones de litio, según la
50 presente solicitud, para realizar la evaluación del rendimiento.

I. Preparación de la batería de iones de litio

1. Preparación de un electrodo negativo

- 55 Se agitaron bien grafito, el caucho de estireno-butadieno (SBR) y la carboximetilcelulosa sódica (CMC) y se mezclaron en una cantidad apropiada de agua desionizada en una proporción en peso de 97,2:1,8:1 para formar una suspensión uniforme de electrodo negativo. Con la suspensión de electrodo negativo se recubrió un colector de corriente de electrodo negativo (lámina de cobre), y se secó, se prensó en frío, se cortó y se recortó en tiras, para obtener el electrodo negativo. El grado de grafitización del grafito se implementó controlando la temperatura de grafitización y el tiempo de mantenimiento. El tiempo de calentamiento estuvo en un intervalo de 12 a 17 horas y la temperatura se aumentó hasta un intervalo de 2.600 °C a 3.000 °C y, a continuación, se mantuvo la temperatura. El tiempo de mantenimiento estuvo en un intervalo de 85 horas a 100 horas y la temperatura se enfrió de forma natural. La relación de aspecto se controló a través de
60 procesos de conformación y cribado.
65

2. Preparación del electrodo positivo

Se agitaron bien fosfato de hierro y litio (LiFePO_4), negro de acetileno utilizado como agente conductor y fluoruro de polivinilideno (PVDF) utilizado como aglutinante y se mezclaron en una cantidad apropiada de un disolvente de N-metilpirrolidona (NMP) en una proporción en peso de 96,3:2,2:1,5, para formar una suspensión uniforme de electrodo positivo. Con la suspensión se recubrió una lámina de aluminio de un colector de corriente de electrodo positivo, y se secó, se prensó en frío, se cortó y se recortó en tiras para obtener el electrodo positivo.

3. Preparación de una solución electrolítica

En una caja de guantes en atmósfera de argón seco, se mezclaron de manera uniforme carbonato de etileno (EC), carbonato de dietilo (DEC) y carbonato de propileno (PC) en una proporción en masa de 2:6:2, a continuación, se añadieron a los mimos al 3 % carbonato de fluoroetileno y succinonitrilo, se disolvieron y se agitaron bien y, a continuación, se añadió la sal de litio LiPF_6 y se mezcló bien para obtener la solución electrolítica, en la que la concentración de LiPF_6 es 1 mol/l.

4. Preparación de un separador

Se utilizó una película de polímero poroso de polietileno (PE) como separador.

5. Preparación de la batería de iones de litio

El electrodo positivo, el separador y el electrodo negativo se laminaron en orden, de modo que el separador se colocó entre el electrodo positivo y el electrodo negativo con fines de aislamiento y, a continuación, se obtuvo una celda desnuda a través de bobinado; y después de soldar una pestaña, la celda desnuda se colocó en una película de plástico de aluminio de un recipiente exterior, la solución electrolítica preparada se inyectó en la celda desnuda seca y se realizaron procesos, tales como envasado al vacío, reposo, conversión química, conformación y prueba de capacidad, para obtener la batería de iones de litio.

II. Procedimiento de la prueba

1. Procedimiento de la prueba de la distribución de la relación de aspecto del material activo de electrodo negativo

Se utilizó el analizador de imágenes de partículas dinámicas QICPIC de Sympatec para medir la distribución de la relación de aspecto del material activo de electrodo negativo.

2. Procedimiento de la prueba del grado de grafitización del material activo de electrodo negativo

En base a JJS K 0131-1996 "Principios de análisis por difracción de rayos X", se midió un espaciado interplanar d_{002} y se utilizó como instrumento un difractómetro de rayos X de cristal único (XRD) de Bruker. Se determinó un ángulo de difracción θ a través de un pico de difracción, se calculó el espaciado interplanar d_{002} a través de la ecuación de Bragg $2d\sin\theta = \lambda$ y, a continuación, se obtuvo el grado de grafitización utilizando una fórmula $G = (0,3440 - d_{002}) / (0,3440 - 0,3354) \times 100\%$ para calcular el grado de grafitización, donde en la fórmula, G es el grado de grafitización en % y d_{002} es una distancia entre capas en nm de planos cristalinos del material de carbono (002).

3. Procedimiento de la prueba de C004/C110 para la capa de material activo de electrodo negativo

Se midieron un patrón de difracción de un plano (004) y un patrón de difracción de un plano (110) en un gráfico de difracción de rayos X de una capa de material activo de electrodo negativo en base a la Norma de la Industria de Maquinaria de la República Popular de China JB/T 4220-2011 "Procedimiento de determinación de los parámetros de red de grafito artificial". Cuando se registró el patrón de difracción de 004, un intervalo de rastreo de un ángulo de difracción 2θ fue de 53° a 57° . Cuando se registró el patrón de difracción de 110, un intervalo de rastreo de un ángulo de difracción 2θ fue de 75° a 79° . Un área de pico obtenida a través del patrón de difracción del plano (004) se denominó C004. Un área de pico obtenida a través del patrón de difracción del plano (110) se denominó C110. Se calculó una proporción C004/C110 para la capa de material activo de electrodo negativo.

4. Procedimiento de la prueba de I_d/I_g para la capa de material activo de electrodo negativo

Se midió una intensidad de pico I_d de la capa de material activo de electrodo negativo a de 1340 cm^{-1} a 1380 cm^{-1} y una intensidad de pico I_g a de 1560 cm^{-1} a 1600 cm^{-1} en un procedimiento de espectroscopia Raman. La I_d/I_g es una proporción calculada de la intensidad de pico I_d de D con respecto a una intensidad de pico I_g de G.

5. Procedimiento de la prueba de una densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo

5 Se probó una densidad compactada de una capa de material activo según la Norma Nacional de la República Popular de China GB/T 24533-2009 "Materiales de electrodos negativos de grafito para baterías de iones de litio". La densidad compactada obtenida de la capa de material activo fue una densidad obtenida después de la descompresión de 5 T.

10 6. Procedimiento de la prueba del tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo

15 En base a la Norma Nacional de la República Popular de China GB/T 19077-2016 "Análisis del tamaño de partícula - Procedimiento de difracción láser", se probó un tamaño de partícula de un material activo utilizando el analizador de tamaño de partícula Malvern, Malvern Master Size 3000. El material de electrodo negativo se dispersó en el dispersante (etanol) y se trató ultrasónicamente durante 30 minutos y, a continuación, se añadió la muestra al analizador de tamaño de partícula Malvern para comenzar la prueba. En la distribución del tamaño de partícula basada en el volumen, para el material de electrodo negativo, un tamaño de partícula que satisface que un volumen acumulado alcance el 10 % comenzando desde un lado de tamaño de partícula pequeño es Dv_{10} del material de electrodo negativo; y en la distribución del tamaño de partícula basada en el volumen, para el material de electrodo negativo, un tamaño de partícula que satisface que un volumen acumulado alcance el 99 % comenzando desde un lado de tamaño de partícula pequeño es Dv_{99} del material de electrodo negativo.

25 7. Procedimiento de la prueba de un espaciado interplanar del material activo de electrodo negativo

30 En base a JJS K 0131-1996 "Principios del análisis por difracción de rayos X", se midió un espaciado interplanar d_{002} y se utilizó como instrumento un difractómetro de rayos X de cristal único (XRD) de Bruker. Se determinó un ángulo de difracción θ a través de un pico de difracción y se calculó el espaciado interplanar d_{002} a través de la ecuación de Bragg $2d\sin\theta = \lambda$.

8. Procedimiento de la prueba de la capacidad por gramo de la batería de iones de litio

35 Para probar una capacidad por gramo del material activo mediante la utilización de un comprobador de batería azul, primero se montó una pila de botón y un modelo de pila de botón era CR2430. Se desmontó una batería de iones de litio completamente descargada para obtener un electrodo negativo, se seleccionó un área del colector de corriente de electrodo negativo con capas de material activo de electrodo negativo en ambas caras (o se podría seleccionar un área con capas de material activo en ambas caras y se eliminaba una capa de material activo en una cara), y se cortó un disco con un diámetro de 14 mm y se pesó, con el peso registrado como m_0 g; y se eliminó una capa de material activo en una cara y se pesó el disco, con el peso registrado como m_1 g. Un peso m_2 (g) de una capa de material activo de una sola cara satisface $m_2(g)=m_0-m_1$. Se añadió la solución electrolítica preparada anteriormente, y la placa de metal de litio se utilizó como un contraelectrodo para ensamblar la pila de botón. La temperatura de prueba fue de 23 °C a 26 °C y se realizó un proceso de prueba: la pila se descargó a 0,05 C hasta 5 mV, a continuación, se descargó nuevamente a 0,05 mA hasta 5 mV, se descargó a 0,02 mA hasta 5 mV y se cargó a 0,1 C hasta 2,0 V; y se registró la capacidad de descarga. El peso del material activo de electrodo negativo se puede calcular en base a la siguiente fórmula: m (g)= $m_2 \times 0,972$. Un valor C (mAh/g) de la capacidad por gramo del material activo de electrodo negativo satisfizo que C (mAh/g)=capacidad de descarga/peso de un material activo de electrodo negativo.

50 9. Procedimiento de la prueba de la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio

55 A 25 °C, la batería de iones de litio se cargó con una corriente continua de 1 C hasta 3,6 V, a continuación, se cargó a un voltaje constante de 3,6 V hasta 0,05 C, se dejó reposar durante 10 minutos y, a continuación, se descargó con una corriente continua de 1 C hasta 2,5 V. Este fue un ciclo y se registró la capacidad de descarga del primer ciclo. Las etapas anteriores se repitieron 1000 veces y se registraron las capacidades de descarga después del ciclo. La tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio se calculó utilizando la siguiente fórmula:

60 Tasa de retención de capacidad posterior al ciclado = (capacidad de descarga después del ciclado/capacidad de descarga en el primer ciclo) \times 100 %

10. Procedimiento de la prueba de la tasa de rebote del grosor de la batería de iones de litio

65 A 45 °C, la batería de iones de litio se cargó con una corriente continua de 1 C hasta 3,6 V, a continuación, se cargó a un voltaje constante de 3,6 V hasta 0,05 C, se dejó reposar durante 10 minutos y, a continuación, se

descargó con una corriente continua de 1 C hasta 2,5 V. Esto fue un ciclo, y se registró un grosor H0 de la batería de iones de litio después de ser cargada a un voltaje constante de 3,6 V hasta 0,05 C y dejarse reposar durante 10 minutos en el período del ciclo. Las etapas anteriores se repitieron 1000 veces y se registró un grosor H1 de la batería de iones de litio después de ser cargada a un voltaje constante de 3,6 V hasta 0,05 C y dejarse reposar durante 10 minutos en el período del ciclo 1000. La tasa de rebote del grosor de la batería de iones de litio se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de rebote del grosor} = (H1-H0)/H0 \times 100 \%$$

III. Resultado de la prueba

La tabla 1 muestra el impacto de la proporción de un material de carbono con un grado de grafitización y la relación de aspecto en un material activo de electrodo negativo sobre el rendimiento de ciclo de una batería de iones de litio.

Tabla 1

No.	Proporción de partículas con una relación de aspecto superior o igual a 3,3	Proporción de partículas con una relación de aspecto superior o igual a 2	Proporción de partículas con una relación de aspecto superior o igual a 1,5	Gr	Tasa de retención de capacidad posterior al ciclado	Tasa de rebote del grosor
Ejemplo 1	1 %	53 %	79 %	0,82	92,6 %	3,01 %
Ejemplo 2	3 %	53 %	79 %	0,85	93,1 %	3,00 %
Ejemplo 3	6 %	53 %	79 %	0,87	93,2 %	3,00 %
Ejemplo 4	8 %	53 %	79 %	0,89	93,2 %	2,98 %
Ejemplo 5	10 %	53 %	79 %	0,92	92,5 %	3,03 %
Ejemplo 6	9 %	53 %	79 %	0,82	93,1 %	3,01 %
Ejemplo comparativo 1	8 %	53 %	79 %	0,81	84,0 %	5,08 %
Ejemplo comparativo 2	8 %	53 %	79 %	0,93	83,8 %	5,13 %
Ejemplo comparativo 3	8 %	53 %	79 %	0,95	83,7 %	5,15 %
Ejemplo comparativo 4	11 %	53 %	79 %	0,82	83,8 %	5,88 %
Ejemplo comparativo 5	12 %	53 %	79 %	0,87	83,6 %	5,82 %
Ejemplo comparativo 6	13 %	53 %	79 %	0,92	83,1 %	5,91 %
Ejemplo comparativo 7	14 %	53 %	79 %	0,89	83,3 %	5,92 %
Ejemplo comparativo 8	13 %	53 %	79 %	0,81	83,2 %	5,92 %
Ejemplo comparativo 9	13 %	53 %	79 %	0,93	83,5 %	5,93 %
Ejemplo comparativo 10	13 %	53 %	79 %	0,95	83,3 %	5,95 %
Ejemplo comparativo 11	12 %	53 %	79 %	0,93	83,0 %	5,96 %
Ejemplo comparativo 12	12 %	53 %	79 %	0,95	83,8 %	5,97 %

Tal como se muestra en el ejemplo comparativo 1, cuando una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 3,3 en el material de carbono es inferior al 10 % de una cantidad total de partículas, pero un grado de grafitización del material de carbono es menor que 0,82, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio es relativamente baja y la tasa de rebote del grosor es relativamente alta.

Tal como se muestra en los ejemplos comparativos 2 y 3, cuando una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 3,3 en el material de carbono es inferior al 10 % de una cantidad total de partículas, pero un grado de grafitización del material de carbono es mayor que 0,92, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio es relativamente baja y la tasa de rebote de

grosor es relativamente alta.

5 Tal como se muestra en los ejemplos comparativos 4 a 7, cuando un grado de grafitización del material de carbono se encuentra dentro de un intervalo de 0,82 a 0,92, pero una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 3,3 en el material de carbono es superior al 10 % de una cantidad total de partículas, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio es relativamente baja y la tasa de rebote del grosor es relativamente alta.

10 Tal como se muestra en el ejemplo comparativo 8, cuando un grado de grafitización del material de carbono es menor que 0,82 y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 3,3 en el material de carbono es superior al 10 % de una cantidad total de partículas, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio es relativamente baja y la tasa de rebote del grosor es relativamente alta.

15 Tal como se muestra en los ejemplos comparativos 9 a 12, cuando un grado de grafitización del material de carbono es mayor que 0,92 y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 3,3 en el material de carbono es superior al 10 % de una cantidad total de partículas, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio es relativamente baja y la tasa de rebote del grosor es relativamente alta.

20 Tal como se muestra en los ejemplos comparativos 1 a 6, cuando un grado de grafitización del material de carbono se encuentra dentro de un intervalo de 0,82 a 0,92 y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 3,3 en el material de carbono es inferior al 10 % de una cantidad total de partículas, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio aumenta de manera significativa, y la tasa de rebote del grosor se reduce de manera significativa. En otras palabras, el rendimiento de ciclo de la batería de iones de litio se ha mejorado significativamente.

30 La tabla 2 muestra el impacto de una proporción de un material de carbono con una relación de aspecto en un material activo de electrodo negativo sobre el rendimiento de ciclo de una batería de iones de litio. Los ejemplos 7 y 9 a 12 y el ejemplo de referencia 8 son modificaciones basadas en el ejemplo 3, y la única diferencia radica en los parámetros enumerados en la tabla 2.

Tabla 2

	Proporción de partículas con una relación de aspecto superior o igual a 2	Proporción de partículas con una relación de aspecto superior o igual a 1,5	Tasa de retención de capacidad posterior al ciclado	Tasa de rebote del grosor
Ejemplo 3	53 %	79 %	93,2 %	3,00 %
Ejemplo 7	33 %	65 %	93,5 %	2,98 %
Ejemplo de referencia 8	36 %	68 %	93,6 %	2,98 %
Ejemplo 9	40 %	73 %	93,7 %	2,99 %
Ejemplo 10	45 %	77 %	93,3 %	2,98 %
Ejemplo 11	50 %	80 %	93,4 %	2,99 %
Ejemplo 12	56 %	85 %	92,9 %	3,02 %

35 Los resultados indican que, cuando una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 2 en el material de carbono es inferior al 50 % y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor o igual a 1,5 es inferior al 80 %, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio puede aumentarse aún más y la tasa de rebote del grosor se reduce aún más.

40 La tabla 3 muestra el impacto de un tamaño de grano de cristal y un grado de grafitización de un material de carbono, y una densidad compactada de un material activo de electrodo negativo sobre el rendimiento de ciclo de una batería de iones de litio. Los ejemplos 13 a 18, 21 y 22 y los ejemplos de referencia 19 y 20 son modificaciones basadas en el ejemplo de referencia 8, y la única diferencia radica en los parámetros enumerados en la tabla 3.

45

Tabla 3

	KxGr	2,5Gr-0,45	PD (g/cm ³)	Tasa de retención posterior al ciclado	Tasa del rebote del grosor
Ejemplo de referencia 8	3,8	1,725	1,80	93,6 %	2,98 %
Ejemplo 13	4,0	1,725	1,58	94,2 %	2,89 %
Ejemplo 14	4,83	1,725	1,63	94,2 %	2,88 %

ES 2 999 668 T3

	KxGr	2,5Gr-0,45	PD (g/cm ³)	Tasa de retención posterior al ciclado	Tasa del rebote del grosor
Ejemplo 15	5,18	1,725	1,66	94,1 %	2,85 %
Ejemplo 16	5,2	1,725	1,66	94,2 %	2,85 %
Ejemplo 17	4,75	1,725	1,74	94,3 %	2,85 %
Ejemplo 18	4,6	1,725	1,77	94,2 %	2,85 %
Ejemplo de referencia 19	3,79	1,725	1,52	93,6 %	2,90 %
Ejemplo de referencia 20	3,85	1,725	1,61	93,7 %	2,88 %
Ejemplo 21	5,25	1,725	1,65	93,8 %	2,91 %
Ejemplo 22	5,4	1,725	1,65	93,8 %	2,92 %

Los resultados indican que, cuando una proporción K de un tamaño de grano de cristal La con respecto a un tamaño de grano de cristal Lc del material de carbono y el grado de grafitización Gr satisfacen que $4,0 \leq K \times Gr \leq 5,2$ y/o un valor PD de la densidad compactada de la capa de material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen que $PD \leq 2,5Gr-0,45 \leq 1,85$ y PD es de 1,45 a 1,75, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado y la tasa de rebote del grosor de la batería de iones de litio se pueden mejorar aún más.

La tabla 4 muestra el impacto del tamaño de partícula, el espaciado interplanar y la orientación de un material activo de electrodo negativo sobre el rendimiento de una batería de iones de litio. Los ejemplos 23 a 29 son modificaciones basadas en el ejemplo 16, y la única diferencia radica en los parámetros enumerados en la tabla 4.

Tabla 4

	DV99-DV10 (μm)	d002 (nm)	C004/C110 para un material activo de electrodo negativo	Tasa de retención de capacidad posterior al ciclado	Tasa de rebote del grosor
Ejemplo 16	30	0,3362	9,02	94,2 %	2,85 %
Ejemplo 23	35	0,3375	5,05	94,8 %	2,71 %
Ejemplo 24	40	0,3367	5,34	94,9 %	2,71 %
Ejemplo 25	50	0,3372	4,60	94,9 %	2,70 %
Ejemplo 26	42	0,3369	5,78	95,1 %	2,70 %
Ejemplo 27	38	0,3366	6,94	95,0 %	2,71 %
Ejemplo 28	38	0,3362	7,46	94,6 %	2,73 %
Ejemplo 29	39	0,3367	8,53	94,8 %	2,80 %

Cuando el tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface $35 \mu\text{m} < Dv99-Dv10 < 50 \mu\text{m}$, el espaciado interplanar $d002 \geq 0,3365 \text{ nm}$ y/o $C004/C110 \leq 8$, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado y la tasa de rebote del grosor de la batería de iones de litio se pueden mejorar aún más.

La tabla 5 muestra el impacto de la capacidad por gramo del material activo de electrodo negativo sobre el rendimiento de ciclo de una batería de iones de litio. Los ejemplos 30 a 36 son modificaciones basadas en el ejemplo 24, y la única diferencia radica en los parámetros enumerados en la tabla 5.

Tabla 5

	Capacidad por gramo C (mAh/g)	390Gr-C	Tasa de retención de capacidad posterior al ciclado	Tasa de rebote del grosor
Ejemplo 24	318	21,3	94,9 %	2,71 %
Ejemplo 30	320	19,3	95,7 %	2,55 %
Ejemplo 31	327	12,3	95,6 %	2,57 %
Ejemplo 32	330	9,3	95,6 %	2,56 %
Ejemplo 33	335	4,3	95,9 %	2,58 %
Ejemplo 34	338	1,3	95,8 %	2,59 %
Ejemplo 35	345	-5,7	95,4 %	2,59 %
Ejemplo 36	355	-15,7	95,2 %	2,65 %

Los resultados indican que, cuando un valor C de una capacidad por gramo y el grado de grafitización Gr del material activo de electrodo negativo satisfacen que $390Gr-C \leq 20$ y $C \leq 350$, la tasa de retención de capacidad posterior al ciclado y la tasa de rebote del grosor de la batería de iones de litio se pueden mejorar aún más.

Además, C004/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo en la batería de iones de litio del ejemplo 33 es 8,63 e Id/Ig es 0,25; y C004/C110 para el material activo de electrodo negativo es 5,78. La batería de iones de litio del ejemplo 36 se utiliza cíclicamente 3.000 veces realizando cíclicamente las etapas del "Procedimiento de la prueba de una tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio". A continuación, se desmontó la batería de iones de litio completamente cargada y se extrajo un electrodo negativo, se lavó y se secó. Se extrajeron la capa de material activo de electrodo negativo y el material activo de electrodo negativo. Después de la prueba, C004/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo después del ciclado es 8,51 e Id/Ig es 0,37; y C004/C110 para el material activo de electrodo negativo después del ciclado es 5,76. C004/C110' para la capa de material activo de electrodo negativo después del ciclado aún se encuentra dentro del intervalo de 7 a 18 e Id/Ig aún se encuentra dentro del intervalo de 0,2 a 0,5. Es decir, después del ciclado, la orientación de la capa de material activo de electrodo negativo de la batería de iones de litio en la presente solicitud no cambia de manera significativa y el material activo tiene una estructura estable.

La figura 6 es un gráfico de curvas de una tasa de retención de capacidad posterior al ciclado con una cantidad de ciclos según el ejemplo comparativo 2 y el ejemplo 1 de la presente solicitud. Tal como se indica en los resultados, una tasa de retención de capacidad posterior al ciclado de la batería de iones de litio del ejemplo 1 es significativamente mayor que la de la batería de iones de litio del ejemplo comparativo 2.

La figura 7 es un gráfico de curvas de una tasa de rebote del grosor con una cantidad de ciclos según el ejemplo comparativo 2 y el ejemplo 1 de la presente solicitud. Tal como se indica en los resultados, una tasa de rebote del grosor de la batería de iones de litio en el ejemplo 1 es significativamente menor que la de la batería de iones de litio en el ejemplo comparativo 2.

Las referencias a "realizaciones", "algunas realizaciones", "una realización", "otro ejemplo", "ejemplos", "ejemplos específicos" o "algunos ejemplos" en esta memoria descriptiva significan la inclusión de características, estructuras, materiales o elementos específicos descritos en la realización o el ejemplo en, como mínimo, una realización o ejemplo de la solicitud. Por lo tanto, las descripciones en esta memoria descriptiva, tales como "en algunas implementaciones", "en las realizaciones", "en una realización", "en otro ejemplo", "en un ejemplo", "en un ejemplo particular" o "por ejemplo", no son necesariamente referencias a las mismas realizaciones o ejemplos en la presente solicitud. Además, las características, estructuras, materiales o elementos específicos en el presente documento pueden incorporarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones o ejemplos.

REIVINDICACIONES

1. Material activo de electrodo negativo, **caracterizado por que** el material activo de electrodo negativo comprende un material de carbono; en el que, un grado de grafitización Gr del material de carbono medido mediante un procedimiento de análisis por difracción de rayos X, tal como se describe en la descripción, es de 0,82 a 0,92; y en base a una cantidad total de partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto, determinada tal como se describe en la descripción, mayor que 3,3 en el material de carbono es del 1 % al 10 %;
- 5 una proporción de un tamaño de grano de cristal La de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal medido mediante el procedimiento de análisis por difracción de rayos X, tal como se describe en la descripción, con respecto a un tamaño de grano de cristal Lc de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical medido mediante el procedimiento de análisis por difracción de rayos X, tal como se describe en la descripción, es K, y $4,0 \leq K \times Gr \leq 5,2$.
- 10
- 15 2. Material activo de electrodo negativo, según la reivindicación 1, **caracterizado por que**, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 50 %, y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 80 %.
- 20 3. Material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizado por que**, en base a la cantidad total de las partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 2 en el material de carbono es inferior al 40 % y una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 1,5 en el material de carbono es inferior al 70 %.
- 25 4. Material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el material activo de electrodo negativo satisface, como mínimo, una de las condiciones (a) o (b):
- (a) en base a la cantidad total de partículas del material de carbono, una proporción de partículas con una relación de aspecto mayor que 3,3 en el material de carbono es del 3 % al 8 %;
- 30 (b) una proporción de un tamaño de grano de cristal La de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje horizontal medido mediante el procedimiento de análisis por difracción de rayos X con respecto a un tamaño de grano de cristal Lc de un grano de cristal del material de carbono a lo largo de un eje vertical que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X es K, y $4,2 \leq K \times Gr \leq 5,0$.
- 35 5. Material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** un tamaño de partícula del material activo de electrodo negativo satisface la siguiente relación: $35 \mu\text{m} < D_{v99} - D_{v10} < 50 \mu\text{m}$, en la que el D_{v99} y el D_{v10} se determinan tal como se describe en la descripción.
- 40 6. Material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que**, un espaciamiento interplanar d002, determinado tal como se describe en la descripción, del material activo de electrodo negativo medido mediante el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $d002 \geq 0,3365 \text{ nm}$.
- 45 7. Material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que**, una proporción de un área de pico C004 de un plano cristalino (004) con respecto a un área de pico C110 de un plano cristalino (110) del material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de análisis por difracción de rayos X satisface $C004/C110 \leq 8$, en la que el área de pico C004 y el área de pico C110 se determinan tal como se describe en la descripción.
- 50 8. Material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque**, una capacidad por gramo C mAh/g del material activo de electrodo negativo y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen las siguientes relaciones: $390Gr - C \leq 20$ y $C \leq 350$.
- 55 9. Aparato electroquímico, **caracterizado por** comprender un electrodo positivo, una solución electrolítica y un electrodo negativo, en el que el electrodo negativo comprende una capa de material activo de electrodo negativo y un colector de corriente de electrodo negativo, y la capa de material activo de electrodo negativo comprende el material activo de electrodo negativo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 60 10. Aparato electroquímico, según la reivindicación 9, **caracterizado por que** una densidad compactada PD g/cm³ de la capa de material activo de electrodo negativo, determinada tal como se describe en la descripción, y el grado de grafitización Gr del material de carbono satisfacen las siguientes relaciones: $PD \leq 2,5Gr - 0,45 \leq 1,85$ y PD es de 1,45 a 1,75.
- 65 11. Aparato electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, **caracterizado por que**, una proporción C004'/C110' de un área de pico C004' de un plano (004) con respecto a un área de pico C110' de un plano (110) de la capa de material activo de electrodo negativo que se mide en el procedimiento de

análisis por difracción de rayos X es de 7 a 18.

- 5 12. Aparato electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, **caracterizado por que** una proporción I_d/I_g de una intensidad de pico I_d de la capa de material activo de electrodo negativo de 1340 cm^{-1} a 1380 cm^{-1} con respecto a una intensidad de pico I_g de la capa de material activo de electrodo negativo a de 1560 cm^{-1} a 1600 cm^{-1} medida mediante un procedimiento de espectroscopia Raman es de 0,2 a 0,5, en el que la intensidad de pico I_d y la intensidad de pico I_g se determinan tal como se describe en la descripción.
- 10 13. Aparato electrónico, **caracterizado por** comprender el aparato electroquímico, según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12.

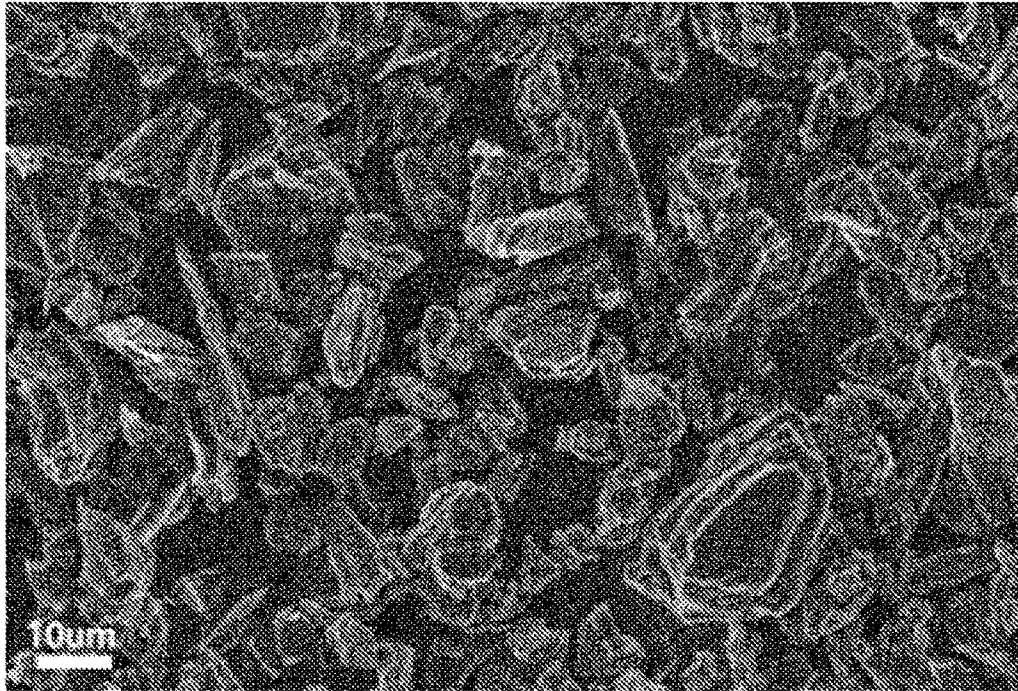


FIG. 1

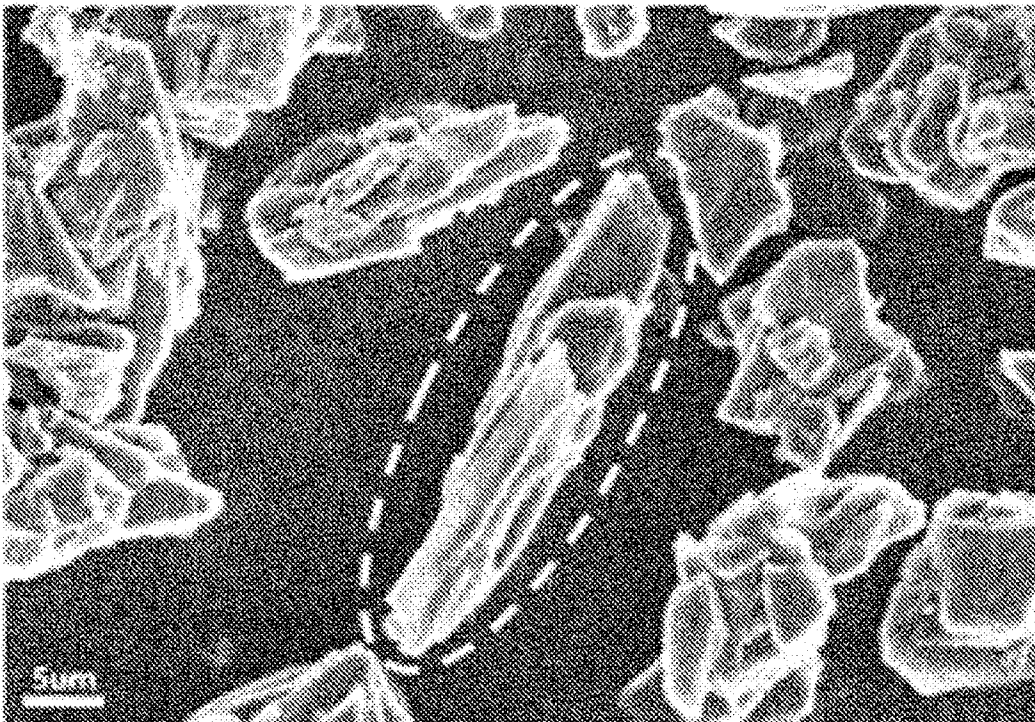


FIG. 2

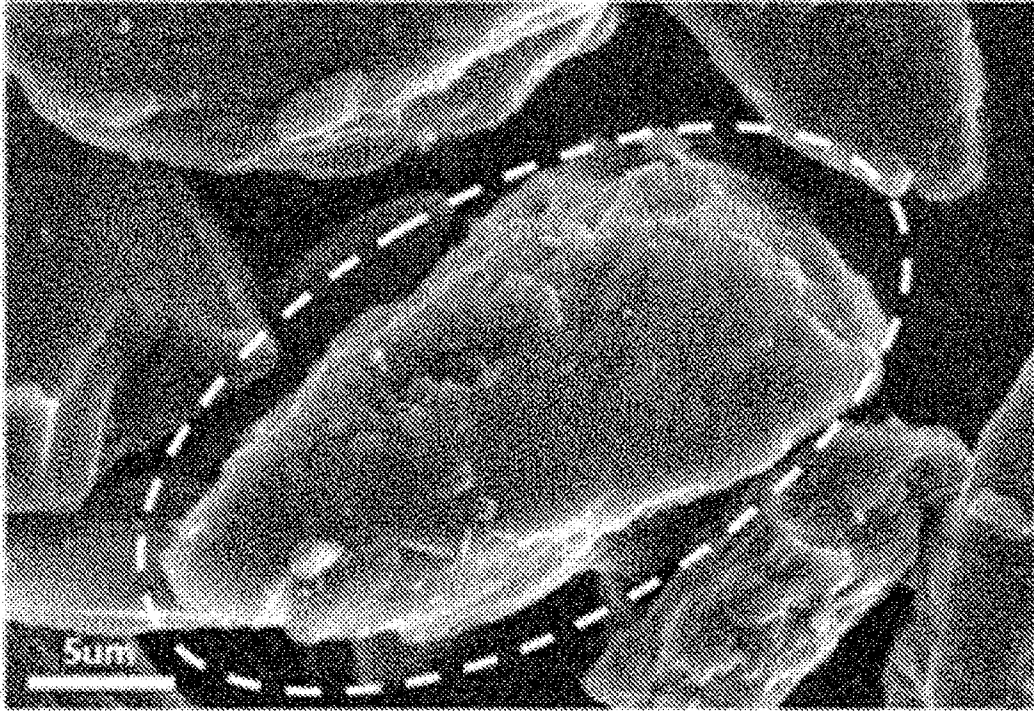


FIG. 3

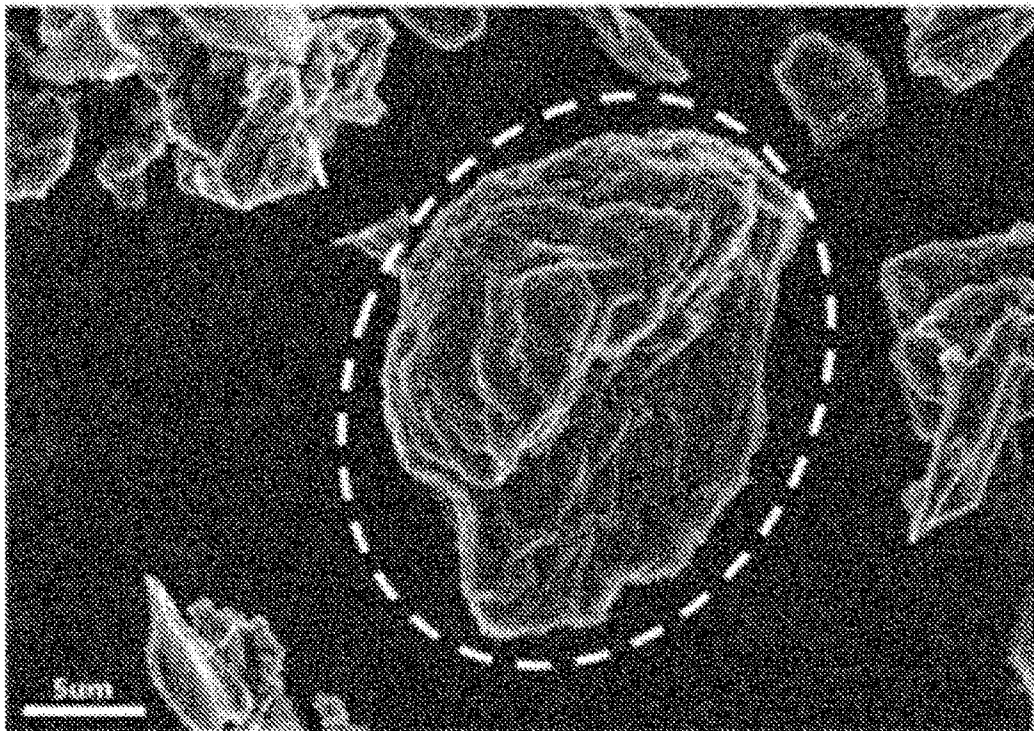


FIG. 4

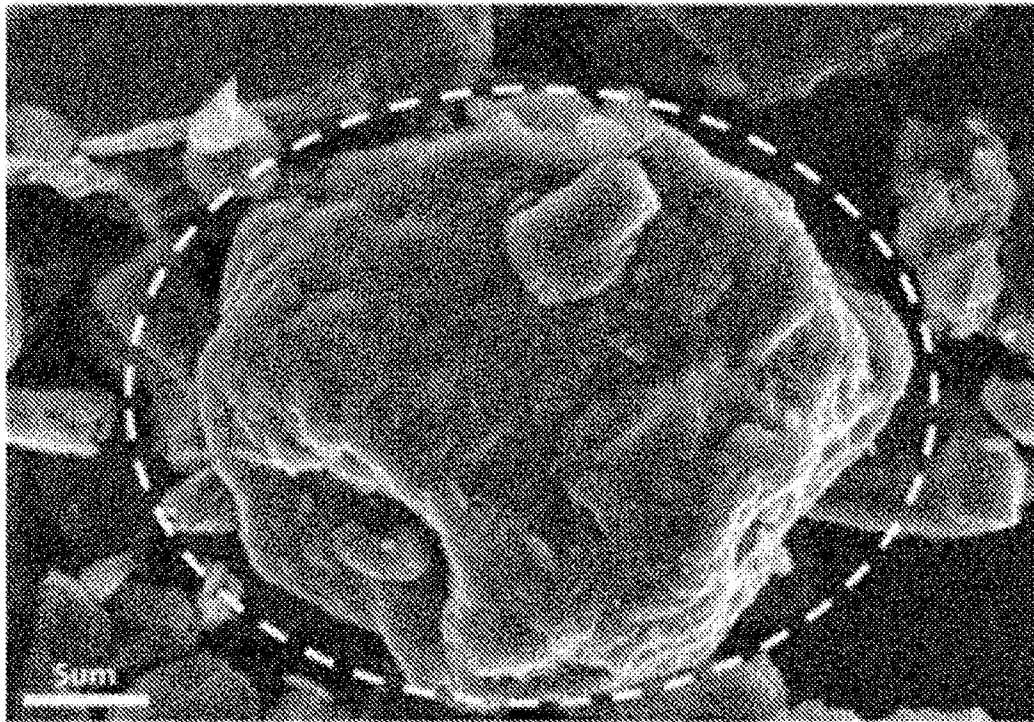


FIG. 5

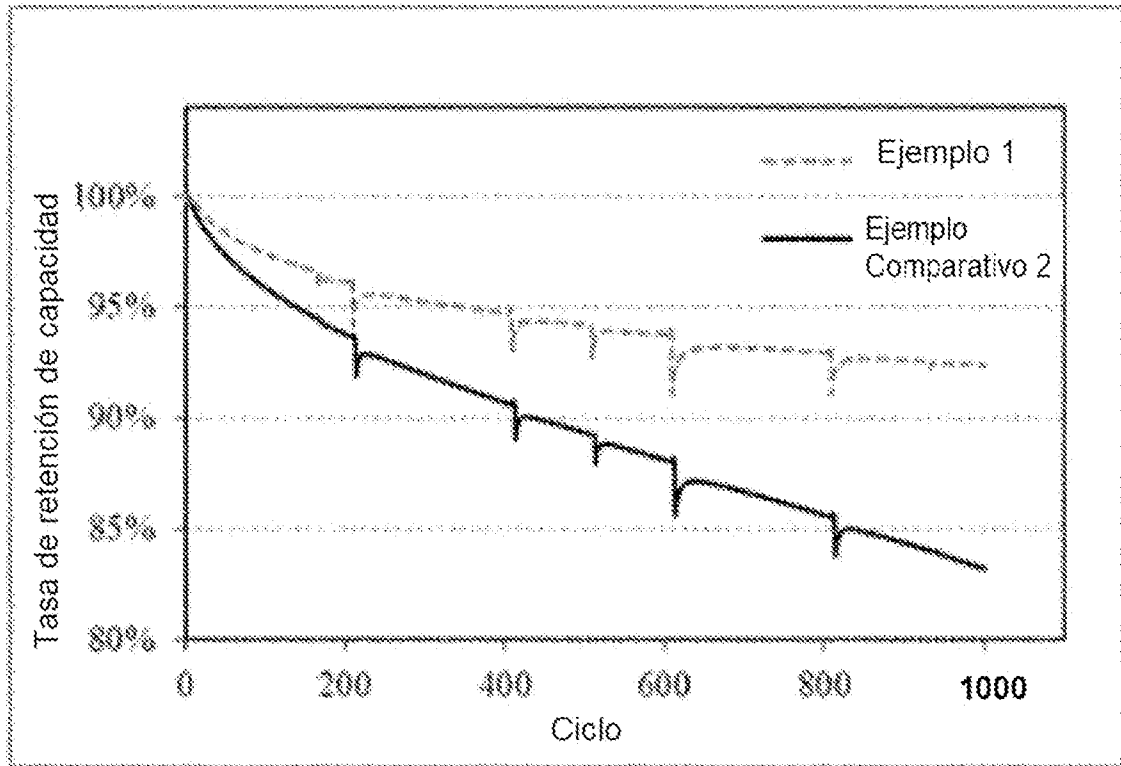


FIG. 6

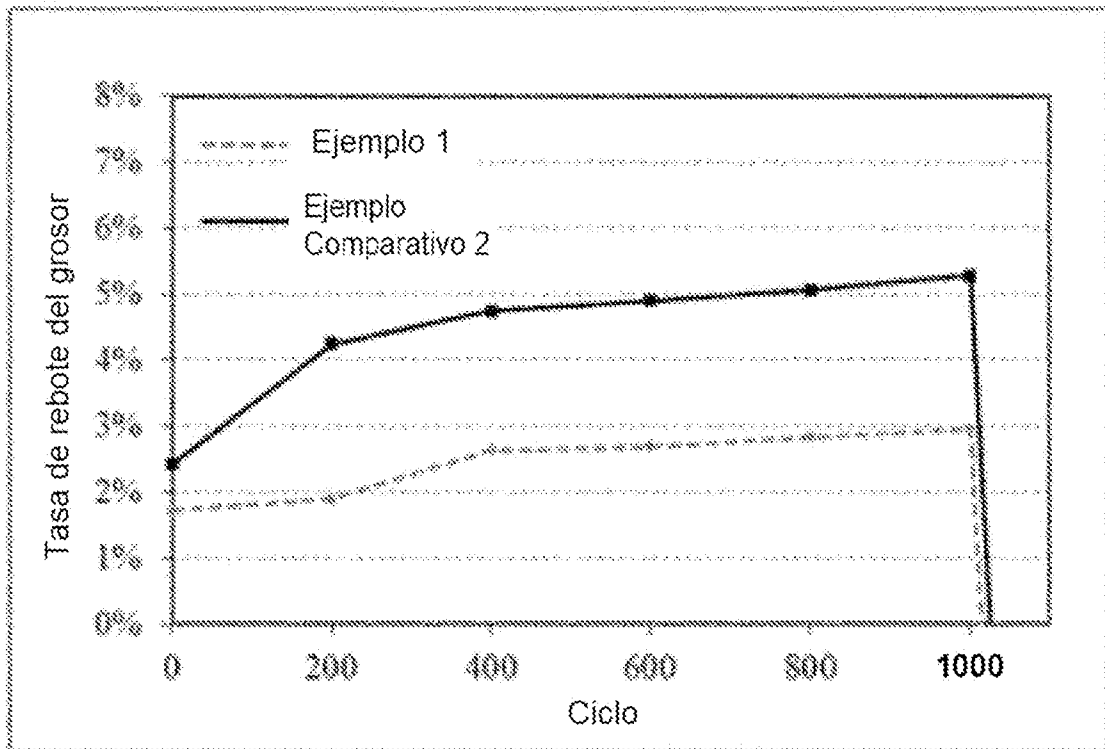


FIG. 7

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

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

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 2017033360 A1
- EP 2560229 A2
- US 2015099180 A1

10