

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 013 601**

(51) Int. Cl.:

H01M 4/04 (2006.01)
H01M 4/133 (2010.01)
H01M 4/134 (2010.01)
H01M 4/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2019 PCT/CN2019/111331**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2020 WO20078358**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2019 E 19872955 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024 EP 3790081**

(54) Título: **Lámina de electrodo negativo y batería**

(30) Prioridad:

17.10.2018 CN 201811208744

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.04.2025

(73) Titular/es:

**CONTEMPORARY AMPEREX TECHNOLOGY (HONG KONG) LIMITED (100.00%)
Level 19, China Building, 29 Queen's Road Central, Central And Western District, HK**

(72) Inventor/es:

**WANG, JIAZHENG;
KANG, MENG;
SHEN, YULIANG y
HE, LIBING**

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 3 013 601 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

Lámina de electrodo negativo y batería

5 CAMPO TÉCNICO

La invención hace referencia al campo técnico de las baterías y, en particular, a una lámina de electrodo negativo y a una batería.

10 ANTECEDENTES

Las baterías recargables se utilizan ampliamente en los teléfonos móviles, ordenadores, electrodomésticos, herramientas eléctricas y en otros sectores gracias a características excepcionales de ligereza de peso, alta densidad de energía, no contaminantes, sin efecto de memoria, vida útil prolongada y similares. El tiempo de carga ha recibido cada vez más atención por parte de los consumidores finales y también es un factor importante que limita la popularización de las baterías recargables.

Desde el punto de vista del principio técnico, la base de la tecnología de carga rápida de baterías es aumentar la velocidad de movimiento iónico entre los electrodos positivos y negativos mediante la armonización del sistema químico y la optimización del diseño. Si el electrodo negativo no puede soportar una carga de corriente elevada, los iones se reducirán y precipitarán directamente en la superficie del electrodo negativo en lugar de estar intercalados en el material activo negativo durante la carga rápida de la batería. Al mismo tiempo, se puede producir una gran cantidad de subproductos en la superficie del electrodo negativo durante la carga rápida de la batería, lo que afectará a la vida útil del ciclo y a la seguridad de la batería. Por lo tanto, la clave de la tecnología de carga rápida de baterías radica en el diseño del material activo negativo y la lámina de electrodo negativo.

El documento EP 3 232 497 A1 divulga una batería secundaria de litio que utiliza óxido de litio y titanio (LTO) como material activo de electrodo negativo. De manera más específica, la divulgación hace referencia a una batería secundaria que tiene unas características de entrada y salida mejoradas mediante la optimización de la porosidad del LTO. La batería secundaria de litio que incluye el material activo de electrodo negativo de óxido de litio y titanio de acuerdo con la divulgación proporciona un efecto de una densidad de salida mejorada considerablemente por medio de la maximización de sitios activos de reacción con electrolito debido a una estructura porosa.

El documento JP 5460948 B2 divulga una celda secundaria de litio de alta capacidad y alta velocidad de carga que incluye un electrodo positivo de alta capacidad que contiene litio en contacto electrónico con un colector de corriente de electrodo positivo, estando dicho colector de corriente en conexión eléctrica con un circuito externo, un electrodo negativo de alta capacidad en contacto electrónico con un colector de corriente de electrodo negativo, estando dicho colector de corriente en conexión eléctrica con un circuito externo, un separador situado entre, y en contacto iónico con, el cátodo y el ánodo, y un electrolito en contacto iónico con los electrodos positivos y negativos, donde la impedancia específica del área total de la celda y las impedancias específicas del área relativa de los electrodos positivos y negativos son tales que, durante una carga a más de, o igual a, 4C, el potencial de electrodo negativo está por encima del potencial del litio metálico. La capacidad de corriente por unidad de área de cada uno de los electrodos positivos y negativos es de al menos 3 mAh/cm², la impedancia específica del área total de la celda es menor de aproximadamente 20 Qcm², y el electrodo positivo tiene una impedancia específica de área r1 y el electrodo negativo tiene una impedancia específica de área r2, y donde la relación de r1 frente a r2 es de al menos aproximadamente 10.

COMPENDIO

La presente invención se define en el conjunto de reivindicaciones adjunto. Habida cuenta de los problemas existentes en los antecedentes, un objeto de la presente invención es proporcionar una lámina de electrodo negativo y una batería, la lámina de electrodo negativo con un rendimiento dinámico sobresaliente, la batería con características de rendimiento dinámico sobresaliente, vida útil de ciclo prolongada y alta densidad de energía al mismo tiempo.

Con el fin de lograr el objeto anterior, en el primer aspecto de la presente invención, la presente invención proporciona una batería de iones de litio que comprende una lámina de electrodo negativa tal como la que se expone en la reivindicación 1. Otros aspectos de la invención se pueden encontrar en las reivindicaciones dependientes.

En comparación con la técnica anterior, la presente invención incluye al menos los siguientes efectos beneficiosos: mediante el ajuste de la relación entre la porosidad P de la película de electrodo negativo, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo y el diámetro de partícula mediano de un volumen D_{v50} del material activo negativo, y una batería con un rendimiento dinámico sobresaliente, en la presente invención se obtiene una vida útil de ciclo prolongada y alta densidad de energía al mismo tiempo.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES

A partir de ahora en la presente, se describen con detalle una lámina de electrodo negativo y una batería de acuerdo con la presente invención.

En primer lugar, se describe una lámina de electrodo negativo de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención. La lámina de electrodo negativo comprende un colector de corriente negativa y una película de electrodo negativo dispuesta en al menos una superficie del colector de corriente negativa y que comprende un material activo negativo, y la película de electrodo negativo satisface $8 \leq P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)] \leq 12$. Donde P representa una porosidad de la película de electrodo negativo; Dv50 representa un diámetro de partícula mediano de un volumen del material activo negativo y una unidad es μm ; M representa una capacidad por unidad de área de la película de electrodo negativo y una unidad es mAh/cm^2 . Cabe destacar que la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo hace referencia a la capacidad por unidad de área de la película de electrodo negativo situada en una cualquiera de las superficies del colector de corriente negativa.

En algunas disposiciones relacionadas con la presente invención, el límite inferior de $P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)]$ puede ser 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8.5, 9, y el límite superior de $P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)]$ puede ser 8.5, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 11.5, 12.5, 13, 13.5, 14, 14.5, 15, 15.5, 16, 16.5, 17, 17.5, 18, 18.5, 19, 19.5, 20. En la invención reivindicada, $8 \leq P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)] \leq 12$.

La lámina de electrodo negativo necesita someterse a los siguientes tres procesos electroquímicos durante el proceso de carga de la batería: (1) los iones (tales como iones de litio, iones de sodio y similares) desintercalados del material activo positivo entran en el electrolito y, posteriormente, entran en los canales de poro del electrodo negativo poroso junto con el electrolito, de modo que se lleve a cabo un proceso de conducción en fase líquida de los iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso; (2) los iones pasan a través de la película de SEI en la superficie del material activo negativo e intercambian cargas con los electrones en la superficie del material activo negativo; (3) los iones entran en la fase masiva del material activo negativo y realizan la acumulación y difusión en fase sólida. Cuanto menor sea la resistencia de los tres procesos electroquímicos anteriores, más se favorece la mejora de la capacidad de carga rápida de la batería y mejor es el rendimiento dinámico de la batería; por el contrario, cuanto mayor sea la resistencia de los tres procesos electroquímicos anteriores, menos se favorece la mejora de la capacidad de carga rápida de la batería y peor es el rendimiento dinámico de la batería.

En general, cuanto menor sea la porosidad P de la película de electrodo negativo, mayor es la resistencia a la difusión en fase líquida de iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso, lo que no es propicio para mejorar la capacidad de carga rápida de la batería y es peor el rendimiento dinámico de la batería también; por el contrario, cuanto mayor sea la porosidad P de la película de electrodo negativo, menor es la resistencia a la difusión en fase líquida de los iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso, en principio, es más beneficioso para mejorar la capacidad de carga rápida de la batería y mejor es el rendimiento dinámico de la batería. No obstante, cuando se incrementa la porosidad P de la película de electrodo negativo, se vuelve más suelto el grado de acumulación entre las partículas de material activo negativo en la película de electrodo negativo, empeora el contacto electrónico entre las partículas y las partículas, se deteriora la conductividad electrónica y tiende a aumentar la resistencia al intercambio de carga entre iones y electrones en la superficie del material activo negativo, lo que afecta así a la mejora del rendimiento dinámico de la batería. Al mismo tiempo, cuando se incrementa la porosidad P de la película de electrodo negativo, se pierde gradualmente la ventaja de alta densidad de energía volumétrica del electrodo negativo, lo que también afecta a la densidad de energía de la batería.

En general, cuanto menor sea el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo, menor es la resistencia al intercambio de carga de iones y electrones en la superficie del material activo negativo durante la carga de la batería, y menor es la resistencia a la acumulación y difusión en fase sólida de iones en la fase masiva del material activo negativo, aunque al mismo tiempo, cuanto mayor sea la probabilidad de que estén bloqueados los canales de poro del electrodo negativo poroso por parte del material activo negativo con un tamaño de partícula pequeño, se extiende la trayectoria de conducción en fase líquida de los iones en los canales de poro del electrodo negativo poroso y aumenta la resistencia a la difusión en fase líquida, lo que afecta a la mejora del rendimiento dinámico de la batería. Además, cuanto menor sea el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo, se pierde gradualmente la ventaja de alta densidad de energía negativa volumétrica, lo que también afecta a la densidad de energía de las baterías.

En general, cuanto menor sea la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo, más rápida es la velocidad de acumulación de iones en la fase masiva del material activo negativo, y cuanto más propicio sea para mejorar la capacidad de carga rápida de la batería, mejor es el rendimiento dinámico de la batería, aunque al mismo tiempo, cuanto menor sea la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo, mayor es el impacto negativo sobre la densidad de energía y la vida útil del ciclo de la batería.

Por lo tanto, los distintos parámetros del material activo negativo y la lámina de electrodo negativo tienen efectos diferentes sobre la vida útil del ciclo, la densidad de energía y el rendimiento dinámico de la batería. Confiar en la optimización de los parámetros anteriores por sí mismos tiene grandes limitaciones a la hora de conseguir un rendimiento dinámico sobresaliente, una vida útil del ciclo prolongada y una mayor densidad de energía de la batería.

El inventor ha descubierto gracias a una investigación exhaustiva que cuando la porosidad P (adimensional) de la película de electrodo negativo, el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 (la unidad es μm) del material activo negativo, la capacidad M (la unidad es mAh/cm^2) por unidad de área de la película de electrodo negativo satisfacen $8 \leq P \times [(30 - Dv50)/2 + 2 \times (10 - M)] \leq 12$, la resistencia a la conducción en fase líquida de iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso, la resistencia al intercambio de carga de iones y electrones en la superficie del material activo negativo y la resistencia a la acumulación y difusión en fase sólida de iones en la fase masiva del material activo negativo se mantienen a un nivel bajo, de modo que la lámina de electrodo negativo pueda tener un rendimiento dinámico sobresaliente y una alta densidad de energía volumétrica, lo que hace posible así que la batería tenga un rendimiento dinámico y una densidad de energía volumétrica sobresalientes, y tiene las ventajas de una vida útil de ciclo prolongada y una alta densidad de energía al mismo tiempo.

En la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, opcionalmente, la porosidad P de la película de electrodo negativo es de un 20 %~65 %; opcionalmente, la porosidad P de la película de electrodo negativo es de un 22 %~60 %; opcionalmente, la porosidad P de la película de electrodo negativo es de un 22 %~55 %. Cuando la porosidad de la película de electrodo negativo se encuentra dentro de los intervalos preferidos anteriores, la resistencia a la difusión en fase líquida de iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso y la resistencia al intercambio de carga entre iones y electrones en la superficie del material activo negativo son pequeñas, de modo que la lámina de electrodo negativo pueda tener un rendimiento dinámico más sobresaliente; al mismo tiempo, la capacidad de retención de electrolito de la película de electrodo negativo es mejor, lo que puede garantizar una buena infiltración de electrolito entre las partículas de las partículas del material activo negativo, y la resistencia a la transferencia de carga interfacial entre el material activo negativo y el electrolito también es menor, lo que da como resultado que se pueden mejorar adicionalmente el rendimiento dinámico y la vida útil de ciclo de la batería.

En la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, opcionalmente, el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo es de $4 \mu\text{m}$ ~ $20 \mu\text{m}$; opcionalmente, el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo es de $4 \mu\text{m}$ ~ $18 \mu\text{m}$; opcionalmente, el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo es de $4 \mu\text{m}$ ~ $16 \mu\text{m}$. Cuando el diámetro de partícula mediano de un volumen del material activo negativo se encuentra dentro de los intervalos preferidos anteriores, la homogeneidad de la lámina de electrodo negativo puede ser mayor, lo que evita por tanto que un diámetro de partícula demasiado pequeño del material activo negativo provoque más reacciones secundarias con el electrolito, lo que afecta así al efecto de mejora del rendimiento de la batería, y un diámetro de partícula demasiado grande impide la acumulación y difusión en fase sólida de los iones en la fase masiva del material activo negativo, lo que afecta así a la mejora del rendimiento de la batería.

En la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo se controla dentro de $0.5 \text{ mAh}/\text{cm}^2$ ~ $7.0 \text{ mAh}/\text{cm}^2$; opcionalmente, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo se controla dentro de $1.0 \text{ mAh}/\text{cm}^2$ ~ $6.0 \text{ mAh}/\text{cm}^2$; opcionalmente, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo se controla dentro de $1.0 \text{ mAh}/\text{cm}^2$ ~ $5.5 \text{ mAh}/\text{cm}^2$. Cuando la capacidad por unidad de área de la película de electrodo negativo se encuentra dentro de los intervalos preferidos anteriores, la lámina de electrodo negativo puede mantener un rendimiento dinámico sobresaliente a la vez que también tiene la ventaja de una alta densidad de energía volumétrica, por otra parte, la batería puede mejorar aún más el rendimiento dinámico a la vez que mantiene una ventaja de densidad de energía más alta.

La capacidad específica (la unidad es mAh/g) del material activo negativo, el peso del recubrimiento (la unidad es g/cm^2) por unidad de área de la lámina de electrodo negativo y la proporción del material activo negativo en la película de electrodo negativo afectan a la capacidad M (la unidad es mAh/cm^2) por unidad de área de la película de electrodo negativo. En general, en las mismas condiciones de preparación, cuanto mayor sea la capacidad específica del material activo negativo, mayor es el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo, y cuanto mayor sea la proporción del material activo negativo en la película de electrodo negativo, mayor es la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo, más débil es la capacidad de carga rápida de la batería y peor es el rendimiento dinámico de la batería. Esto se debe a que cuanto mayor sea la capacidad específica del material activo negativo, en las mismas condiciones, mayor es la resistencia a la acumulación y difusión sólida de iones en la fase masiva del material activo negativo; cuanto mayor sea el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo, mayor es la proporción del material activo negativo en la película de electrodo negativo, mayor es el grosor de la película de electrodo negativo, mayor es la trayectoria de difusión en fase líquida de iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso y mayor es la resistencia a la difusión en fase líquida del ion, que en mayor medida es menos propicio para la mejora del rendimiento dinámico de la batería.

Opcionalmente, en la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, el material activo negativo puede ser uno o más seleccionados de entre materiales de carbono, material a base de silicio, material a base de estaño y titanato de litio. El material de carbono puede ser uno o más seleccionados de entre grafito, carbono blando, carbono duro, fibra de carbono y microesferas mesocarbonadas; el grafito puede ser uno o más seleccionados de entre grafito artificial y grafito natural; el material a base de silicio puede ser uno o más seleccionados de entre silicio elemental, compuesto de silicio-oxígeno, material compuesto de silicio-carbono y aleación de silicio; el material a base de estaño puede ser uno o más seleccionados de entre estaño elemental, compuesto de óxido de estaño y

aleación de estaño. Opcionalmente, el material activo negativo es uno o más seleccionados de entre materiales de carbono y materiales a base de silicio.

5 Opcionalmente, en la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativa es de $1 \text{ mg/cm}^2 \sim 22 \text{ mg/cm}^2$; opcionalmente, el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo es de $2 \text{ mg/cm}^2 \sim 18 \text{ mg/cm}^2$; opcionalmente, el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo es de $4 \text{ mg/cm}^2 \sim 12 \text{ mg/cm}^2$. Cuando el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo se encuentra dentro del intervalo preferido anterior, la lámina de electrodo negativo puede mantener un rendimiento dinámico sobresaliente 10 a la vez que tiene una ventaja de alta densidad de energía volumétrica, y se puede mejorar aún más el rendimiento dinámico de la batería a la vez que mantiene una densidad de energía más alta de la ventaja de la batería.

15 En la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, en las mismas condiciones, cuanto menor sea la densidad de compactación PD de la película de electrodo negativo, más desarrollada está la estructura de los canales de poro del electrodo negativo poroso, más propicia es la difusión en fase líquida de iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso, especialmente en condiciones rigurosas donde la batería experimenta múltiples cargas y descargas y expansiones y contracciones repetidas, aún se puede garantizar que la resistencia a la difusión en fase líquida de iones dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso mantiene 20 un nivel bajo. No obstante, cuando la densidad de compactación de la película de electrodo negativo es demasiado pequeña, esto puede hacer que se desprenda la lámina de electrodo negativo de la película y el polvo, los iones se reducirán y precipitarán directamente en la superficie del electrodo negativo debido a una mala conductividad electrónica durante la carga, lo que afecta así al rendimiento dinámico y a la vida útil de ciclo de la batería y reduce la densidad de energía de la batería. La densidad de compactación PD de la película de electrodo negativo es de $1.0 \text{ g/cm}^3 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$. Cuando la densidad de compactación de la película de electrodo negativo se encuentra dentro del 25 intervalo preferido anterior, se puede mejorar aún más el rendimiento dinámico de la batería a la vez que se mantiene una densidad de energía más alta de la ventaja de la batería.

30 En la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, además de la porosidad P de la película de electrodo negativo, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo y el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo afectan en gran medida al rendimiento dinámico de la batería, la fuerza adhesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa también 35 puede afectar al rendimiento dinámico de la batería. Cuanto mayor sea la fuerza adhesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa, mejor es la conductividad de los electrones que pasan a través del colector de corriente negativa a la película de electrodo negativo, menor es la resistencia al intercambio de carga entre iones y electrones en la superficie del material activo negativo y más sobresaliente es el rendimiento dinámico de la batería; no obstante, una fuerza adhesiva F excesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de 40 corriente negativa puede reducir la densidad de energía de la batería. A través de una investigación exhaustiva, los inventores han descubierto que cuando la fuerza adhesiva F (la unidad es N/m) entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa y la capacidad M (la unidad es mAh/cm²) por unidad de área de la película de electrodo negativo satisfacen $M/3 \leq F \leq 6M$, se pueden mejorar aún más el rendimiento dinámico y el rendimiento de ciclo de la batería, a la vez que se garantiza que la batería tiene una ventaja de densidad de energía más alta. Opcionalmente, la fuerza adhesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa satisface 45 $M/2 \leq F \leq 5M$.

50 Cabe destacar que, bajo la condición de que el peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo sea constante, la fuerza adhesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa está relacionada con el contenido de aglutinante en la película de electrodo negativo, el tipo de aglutinante, la densidad de compactación de la película de electrodo negativo y similares, y un experto en la técnica puede elegir un método conocido en la técnica basándose en las demandas reales para ajustar la fuerza adhesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa.

55 En la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención, la película de electrodo negativo se puede disponer en una superficie del colector de corriente negativa o en ambas superficies del colector de corriente negativa. La película de electrodo negativo puede incluir además un agente conductor y un aglutinante, donde el tipo y contenido del agente conductor y el aglutinante no están limitados específicamente y se pueden seleccionar basándose en las demandas reales. El tipo de colector de corriente negativa tampoco está limitado específicamente y se puede seleccionar basándose en las demandas reales, opcionalmente, se puede utilizar una lámina de cobre.

60 Cabe destacar que, cuando se dispone la película de electrodo negativo en ambas superficies del colector de corriente negativa, siempre que la película de electrodo negativo en cualquiera de las superficies satisfaga la presente invención, se considera que la placa negativa se encuentra dentro del alcance de protección de la presente invención. Al mismo tiempo, los parámetros de cada película de electrodo negativo proporcionada en la presente invención también hacen referencia a los parámetros de una película de electrodo negativo de una sola cara.

65 A continuación, se describirá una batería de acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención, la cual comprende la lámina de electrodo negativo del primer aspecto de la presente invención.

La batería comprende además una lámina de electrodo positivo, un electrolito y una película de aislamiento.

5 Cabe destacar que la batería de acuerdo con la invención es una batería de iones de litio: la lámina de electrodo positivo incluye un colector de corriente positiva y una película de electrodo positivo dispuesta en al menos una superficie del colector de corriente positiva y que comprende un material activo positivo. El material activo positivo es uno o más seleccionados de entre óxido de manganeso, cobalto, litio y níquel y fosfatos que contienen litio de tipo olivino. Estos materiales activos positivos se pueden utilizar solos, o se pueden utilizar dos o más de ellos en combinación. El material activo positivo es LiFePO₄ (LFP) o LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ (NCM811). En disposiciones 10 relacionadas, el material activo positivo puede ser uno o más seleccionados de entre LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂ (NCM333), LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂ (NCM523), LiNi_{0.6}Co_{0.2}Mn_{0.2}O₂ (NCM622) y LiMnPO₄.

15 En la batería del segundo aspecto de la presente invención, la película de aislamiento se dispone entre la lámina de electrodo positivo y la lámina de electrodo negativo y desempeña un papel de aislamiento. El tipo de película de aislamiento no está limitado específicamente, la película de aislamiento puede ser cualquier película de aislamiento utilizada en baterías existentes, por ejemplo, la película de aislamiento puede ser una membrana de polietileno, una membrana de polipropileno, una membrana de fluoruro de polivinilideno y una membrana de material compuesto multicapa de estos, aunque la presente divulgación no está limitada por ello.

20 20 En la batería del segundo aspecto de la presente invención, el electrolito comprende una sal de electrolito y un disolvente orgánico, el tipo específico de la sal de electrolito y el disolvente orgánico no están limitados específicamente y se pueden seleccionar basándose en las demandas reales. El electrolito también puede comprender un aditivo y el tipo del aditivo no está limitado específicamente. El aditivo puede ser un aditivo formador de la película de electrodo negativo; el aditivo también puede ser un aditivo formador de la película de electrodo positivo; el aditivo 25 también puede ser un aditivo utilizado para mejorar un rendimiento determinado de la batería, tal como un aditivo utilizado para mejorar el rendimiento de sobrecarga de la batería, un aditivo utilizado para mejorar el rendimiento a alta temperatura de la batería, un aditivo utilizado para mejorar el rendimiento a baja temperatura de la batería y similares.

30 30 A continuación, se toma como ejemplo una batería de iones de litio y se combina con realizaciones específicas para ilustrar adicionalmente la presente solicitud. Se debe sobreentender que estas realizaciones se utilizan únicamente para ilustrar la solicitud y no pretenden limitar el alcance de la solicitud. En los siguientes ejemplos, a menos que se especifique lo contrario, todas las materias primas utilizadas están disponibles comercialmente.

35 **1. Las baterías de iones de litio de los ejemplos 1-22 y los ejemplos comparativos 1-4 se prepararon de acuerdo con los siguientes métodos**

(1) Preparación de la lámina de electrodo positivo

40 40 Mezclar el material activo de electrodo positivo (véase la Tabla 1 para más detalles), el agente conductor de negro de carbono conductor SP y el aglutinante de fluoruro de polivinilideno (PVDF) de acuerdo con una relación mísica de 95:2:2, añadir el disolvente de N-metilpirrolidona (NMP) y agitar sometido a la acción de una mezcladora de vacío hasta que el sistema sea homogéneo para obtener una suspensión positiva; con la suspensión de electrodo positivo se recubren uniformemente las dos superficies de la lámina de aluminio del colector de corriente positiva, se seca a temperatura ambiente y se transfiere al horno para continuar el secado y, posteriormente, se prensa en frío y se corta para obtener la lámina de electrodo positivo.

(2) Preparación de la lámina de electrodo negativo

50 50 Mezclar el material activo negativo (véase la Tabla 1 para más detalles), el agente conductor de negro de carbono conductor SP, el espesante de carboximetilcelulosa (CMC) y el aglutinante de goma de estireno butadieno (SBR) de acuerdo con una relación mísica determinada, añadir el disolvente de agua desionizada, mezclar sometido a la acción de una mezcladora de vacío hasta que el sistema sea homogéneo para obtener una suspensión negativa; a continuación, con la suspensión negativa se recubren uniformemente las dos superficies de la lámina de cobre del colector de corriente negativa, se seca a temperatura ambiente y se transfiere al horno para continuar el secado y, posteriormente, se prensa en frío y se corta para obtener la lámina de electrodo negativo.

(3) Preparación del electrolito:

60 60 Mezclar entre sí carbonato de etileno (EC), metil carbonato de etilo (EMC) y carbonato de dietilo (DEC) de acuerdo con una relación volumétrica de 1:1:1 para obtener un disolvente orgánico, a continuación, se disuelve LiPF₆, una sal de litio suficientemente seca, en el disolvente orgánico mezclado para preparar un electrolito con una concentración de 1 mol/L.

65 **(4) Preparación de la película de aislamiento**

Se selecciona una membrana de polietileno como película de aislamiento.

(5) Preparación de la batería de iones de litio

- 5 Apilar la lámina de electrodo positivo, la película de aislamiento y la lámina de electrodo negativo en orden, la película de aislamiento se sitúa entre la lámina de electrodo positivo y la lámina de electrodo negativo para desempeñar el papel de aislamiento, a continuación, se enrolla para formar una celda básica; colocar la celda básica en una envoltura de empaquetado exterior e inyectar el electrolito tras el secado, después de una encapsulación al vacío, reposo, conformación química, moldeado y similares, se obtiene una batería de iones de litio.

10 **2. Medición paramétrica del material activo del electrodo negativo y de la lámina de electrodo negativo**

- 15 (1) El diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo se puede obtener utilizando un aparato de medición de la distribución de tamaño de partícula por difracción láser (Mastersizer 3000). Dv50 representa el diámetro de partícula correspondiente al porcentaje volumétrico acumulado del material activo negativo que alcanza un 50 %.

- 20 (2) La porosidad P de la película de electrodo negativo se puede obtener mediante el método de sustitución de gas, la porosidad $P = (V_1 - V_2)/V_1 \times 100\%$, V_1 representa el volumen aparente de la película de electrodo negativo y V_2 representa el volumen real de la película de electrodo negativo.

- 25 (3) La capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo se puede ensayar mediante el siguiente método:

- 30 25 Tomar la lámina de electrodo negativo preparada en cada ejemplo y ejemplo comparativo, y utilizar una matriz de perforación para obtener una cierta área de una oblea negativa recubierta en una sola cara. Utilizar la lámina metálica de litio como el contraelectrodo y la membrana Celgard como película de aislamiento, utilizar el electrolito preparado en los ejemplos y ejemplos comparativos anteriores, se ensamblan seis celdas de botón CR2430 en una caja sellada con guantes protegida por argón. Tras el montaje, la celda de botón se deja reposar durante 12 horas, tras lo cual se prueban. En primer lugar, se realiza una descarga de corriente constante con una corriente de descarga de 0.05 C hasta que la tensión es de 5 mV; a continuación, se realiza una descarga de corriente constante con una corriente de descarga de 50 μ A hasta que la tensión es de 5 mV; a continuación, se realiza una descarga de corriente constante con una corriente de descarga de 10 μ A hasta que la tensión es de 5 mV; tras reposar durante 5 minutos, se realiza una carga de corriente constante final con una corriente de carga de 0.05 C hasta que la tensión final es de 2 V y se registra la capacidad de carga de este paso. La capacidad de carga media de las seis baterías de botón es la capacidad de carga media de la película de electrodo negativo.

35 **(4) Fuerza adhesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa**

- 40 40 El ensayo de la fuerza cohesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa puede hacer referencia a la norma nacional GB/T 2790-1995, adhesivos, método de ensayo de resistencia al desprendimiento a 180°. El ensayo específico se puede llevar a cabo utilizando un tirador de alto contenido en hierro para ensayar la resistencia al desprendimiento a 180° para una velocidad de desprendimiento de 50 mm/min. La resistencia al desprendimiento media recogida cuando la película de electrodo negativo, con una longitud de 60 mm, se desprende completamente del colector de corriente negativa se tomó como la fuerza cohesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa.

45 **3. Prueba de rendimiento de batería**

50 **(1) Ensayo del rendimiento dinámico**

- 55 A 25 °C, las baterías preparadas en los ejemplos y ejemplos comparativos se cargan completamente a x C y después se descargan completamente a 1 C durante 10 ciclos, a continuación, las baterías se cargan completamente a x C y, a continuación, se desmontan las láminas de electrodo negativo y se observa la precipitación de litio en la superficie de cada lámina de electrodo negativo. Si no hay precipitación de litio en la superficie del cátodo, el proceso de ensayo se repite con una velocidad de carga x C que se aumenta en incrementos de 0.1 C, hasta que se precipita litio en la superficie del electrodo negativo y se detiene el proceso de ensayo. En este momento, la velocidad de carga x C menos 0.1 C es la velocidad de carga máxima de la batería.

60 **(2) Ensayo de la densidad de energía real**

- 65 A 25 °C, las baterías preparadas en los ejemplos y ejemplos comparativos se cargan completamente a una velocidad de 1 C y se descargan completamente a una velocidad de 1 C, la energía de descarga real se registró en este instante; a 25 °C, las baterías se pesaron mediante un balanza electrónica. Y una relación entre la capacidad de descarga real de la batería descargada a 1 C y el peso de la batería es la densidad de energía real de la batería.

5 Cuando la densidad de energía real es inferior a un 80 % de la densidad de energía objetivo, se considera que la densidad de energía real de la batería es muy baja; cuando la densidad de energía real es superior o igual a un 80 % de la densidad de energía objetivo e inferior a un 95 % de la densidad de energía objetivo, se considera que la densidad de energía real de la batería es baja; cuando la densidad de energía real es superior o igual a un 95 % de la densidad de energía objetivo e inferior a un 105 % de la densidad de energía objetivo, se considera que la densidad de energía real de la batería es moderada; cuando la densidad de energía real es superior o igual a un 105 % de la densidad de energía objetivo e inferior a un 120 % de la densidad de energía objetivo, se considera que la densidad de energía real de la batería es alta; cuando la densidad de energía real es superior a un 120 % de la densidad de energía objetivo, se considera que la densidad de energía real de la batería es muy alta.

10

(3) Ensayo del rendimiento del ciclo

15 A 25 °C, las baterías preparadas en los ejemplos y ejemplos comparativos se cargan a una velocidad de 3 C, se descargan a una velocidad de 1 C y se repite el proceso completo de carga y descarga hasta que la capacidad de la batería decae hasta un 80 % de la capacidad inicial, y se registra el número de ciclos de la batería.

20 En la Tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas de cada ejemplo y ejemplo comparativo. Los ejemplos 7 y 8 están de acuerdo con la presente invención, mientras que los ejemplos 1-6 y 9-22, así como también los ejemplos comparativos 1-4, no están de acuerdo con la presente invención.

Tabla 1: Parámetros de los ejemplos 1-22 y ejemplos comparativos 1-4

	Tipo de material activo positivo	Material activo negativo			Película de electrodo negativo			Fórmula ¹
		Tipo	Dv50 (μm)	Volumen específico (mAh/g)	Porosidad P	Peso del recubrimiento por unidad de área (mg/cm ²)	Capacidad por unidad de área M (mAh/cm ²)	
Ejemplo 1	LFP	grafito	4	250	20 %	6.3	1.58	6.0
Ejemplo 2	LFP	grafito	4	320	20 %	3.9	1.25	6.1
Ejemplo 3	LFP	grafito	4	350	20 %	3	1.05	6.2
Ejemplo 4	LFP	grafito	4	365	30 %	15.7	5.73	6.5
Ejemplo 5	LFP	grafito	12	360	30 %	8.7	3.13	6.8
Ejemplo 6	LFP	grafito	16	350	30 %	3	1.05	7.5
Ejemplo 7	LFP	grafito	4	350	50 %	16.4	5.74	10.8
Ejemplo 8	LFP	grafito	12	350	50 %	8.9	3.12	11.4
Ejemplo 9	LFP	grafito	16	350	50 %	3	1.05	12.5
Ejemplo 10	LFP	grafito	4	350	60 %	16.4	5.74	12.9
Ejemplo 11	NCM 811	grafito (314 mAh/g) y monóxido de silicio (1000 mAh/g) con una relación molar de 8:2	12	520	60 %	6	3.12	13.7
Ejemplo 12	LFP	grafito	4	350	60 %	1.5	0.53	19.2
Ejemplo 13	LFP	grafito	8	350	60 %	1.5	0.53	18
Ejemplo 14	LFP	grafito	12	350	25 %	16.4	5.74	4.4
Ejemplo 15	LFP	grafito	4	350	15 %	3	1.05	4.6
Ejemplo 16	LFP	grafito	4	350	70 %	8.7	3.05	18.8
Ejemplo 17	LFP	grafito	4	350	30 %	0.8	0.28	9.7
Ejemplo 18	LFP	grafito	4	350	50 %	22.3	7.81	8.7
Ejemplo 19	LFP	grafito	22	350	50 %	16.4	5.74	6.3
Ejemplo 20	LFP	grafito	2	350	50 %	3	1	16
Ejemplo 21	LFP	grafito	12	350	50 %	8.9	3.12	11.4

	Tipo de material activo positivo	Material activo negativo			Película de electrodo negativo			Fórmula 1
		Tipo	Dv50 (μm)	Volumen específico (mAh/g)	Porosidad P	Peso del recubrimiento por unidad de área (mg/cm²)	Capacidad por unidad de área M (mAh/cm²)	
Ejemplo 22	LFP	grafito	16	350	50 %	3	1.05	12.5
Ejemplo comparativo 1	LFP	grafito	18	350	25 %	15.7	5.5	3.8
Ejemplo comparativo 2	LFP	grafito	4	350	65 %	1.5	0.53	20.8
Ejemplo comparativo 3	NCM 811	grafito (314 mAh/g) y monóxido de silicio (1000 mAh/g) con una relación molar de 8:2	12	520	20 %	12.5	6	3.4
Ejemplo comparativo 4	NCM 811	grafito (314 mAh/g) y monóxido de silicio (1000 mAh/g) con una relación molar de 8:2	4	520	65 %	2.1	1	20.2

Nota: Fórmula 1= $P \times [(30-Dv50)/2 + 2 \times (10-M)]$

Tabla 2: Resultados de los ejemplos 1-22 y los ejemplos comparativos 1-4

	Fuerza cohesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa F(N/m)	Si se satisface $M/3 \leq F \leq 6M$	Velocidad de carga máxima	Densidad de energía real	Número de ciclos
Ejemplo 1	4	Sí	4.0 C	moderada	3800
Ejemplo 2	4	Sí	4.0 C	moderada	4000
Ejemplo 3	4	Sí	4.0 C	moderada	4200
Ejemplo 4	6	Sí	4.0 C	moderada	3000
Ejemplo 5	6	Sí	4.1 C	moderada	4000
Ejemplo 6	5	Sí	4.2 C	moderada	4200
Ejemplo 7	12	Sí	4.4 C	alta	5500
Ejemplo 8	12	Sí	4.6 C	alta	5800
Ejemplo 9	6	Sí	5.0 C	moderada	4300
Ejemplo 10	10	Sí	4.6 C	alta	4500
Ejemplo 11	10	Sí	4.2 C	moderada	4200
Ejemplo 12	2	Sí	3.0 C	baja	2600
Ejemplo 13	2	Sí	3.2 C	baja	2500
Ejemplo 14	15	Sí	3.0 C	muy alta	2600
Ejemplo 15	3	Sí	3.0 C	moderada	2200
Ejemplo 16	10	Sí	5.0 C	moderada	2100
Ejemplo 17	1	Sí	5.0 C	baja	4100
Ejemplo 18	20	Sí	5.0 C	muy alta	4600
Ejemplo 19	1,9	Sí	4.2 C	muy alta	3500
Ejemplo 20	2	Sí	4.2 C	baja	3400

	Fuerza cohesiva entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa F(N/m)	Si se satisface M/3≤F≤6M	Velocidad de carga máxima	Densidad de energía real	Número de ciclos
Ejemplo 21	0,8	No	3.5 C	moderada	3600
Ejemplo 22	8	No	3.6 C	baja	3800
Ejemplo comparativo 1	3	Sí	1.4 C	muy alta	130
Ejemplo comparativo 2	0,5	Sí	2.5 C	muy baja	160
Ejemplo comparativo 3	1	No	1.5 C	muy alta	180
Ejemplo comparativo 4	1	Sí	2.5 C	muy baja	140

A partir de los resultados de la prueba en la Tabla 2, se puede observar que las láminas de electrodo negativo en las baterías de los ejemplos 1-22 satisfacen $4 \leq P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)] \leq 20$, y la batería tiene las características de rendimiento dinámico sobresaliente, vida útil de ciclo prolongada y densidad de energía más alta al mismo tiempo.

5 Esto se debe a la buena relación de coordinación entre la porosidad P de la película de electrodo negativo, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo y el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo. La resistencia a la conducción en fase líquida de iones de litio dentro de los canales de poro del electrodo negativo poroso, el intercambio de carga entre iones de litio y electrones en la superficie del material activo negativo y la resistencia a la acumulación y difusión en fase sólida de iones de litio en la fase masiva del material activo negativo son menores, por lo que la batería tiene las características de rendimiento dinámico sobresaliente, vida útil de ciclo prolongada y densidad de energía más alta al mismo tiempo.

10 En comparación con los ejemplos 1-22, en los ejemplos comparativos 1-4, la porosidad P de la película de electrodo negativo, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo y el diámetro de partícula promedio de un volumen Dv50 del material activo negativo no se coordinaron de manera razonable, lo que da como resultado que $P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)]$ no se encuentre dentro del intervalo dado, por lo que la batería no puede tener un rendimiento dinámico sobresaliente, una vida útil de ciclo prolongada y una alta densidad de energía al mismo tiempo.

15 Opcionalmente, la porosidad P de la lámina de electrodo negativo se controla en el intervalo de un 20 % a un 65 %, y dentro del intervalo preferido anterior, la batería puede tener tanto la dinámica sobresaliente como la vida útil de ciclo prolongada. Opcionalmente, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo se controla entre 0.5 mAh/cm² y 7.0 mAh/cm², y dentro del intervalo preferido anterior, la batería puede tener tanto la vida útil de ciclo prolongada como la alta densidad de energía. Opcionalmente, el diámetro de partícula promedio de un volumen Dv50 del material activo negativo se controla en el intervalo de 4 µm ~ 20 µm, y dentro del intervalo preferido anterior, la batería puede tener tanto el rendimiento dinámico sobresaliente como la alta densidad de energía.

20 No obstante, cuando uno o más de los parámetros de la porosidad P de la película de electrodo negativo, la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo y el diámetro de partícula mediano de un volumen Dv50 del material activo negativo no se encuentran en el intervalo preferido anterior, siempre que se garantice que $4 \leq P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)] \leq 20$, combinado con los ejemplos 15-20, la batería aún puede tener un buen rendimiento dinámico y rendimiento de ciclo sin sacrificar la densidad de energía.

25 A partir del ejemplo 11 y de los ejemplos comparativos 3-4, cuando la batería utiliza unos materiales activos positivo y negativo diferentes, siempre que la lámina de electrodo negativo satisfaga $4 \leq P \times [(30-Dv50)/2+2 \times (10-M)] \leq 20$, la batería aún puede tener las características de rendimiento dinámico sobresaliente, vida útil de ciclo prolongada y densidad de energía más alta al mismo tiempo.

30 Asimismo, cuando se ajusta la relación entre la fuerza adhesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa, así como también la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo para satisfacer $M/3 \leq F \leq 6M$, se puede mejorar aún más el rendimiento dinámico y el rendimiento del ciclo de la batería, a la vez que se garantiza que la batería tiene la ventaja de una densidad de energía más alta.

35 En combinación con el ejemplo 21, la fuerza adhesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente de electrodo negativo es menor, el contacto electrónico entre las partículas del material activo negativo es peor, el contacto electrónico entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa es peor, la conductividad

de los electrones a través del colector de corriente negativa al colector de corriente negativa es peor y la resistencia al intercambio de carga entre iones de litio y electrones en la superficie del material activo negativo es mayor. Por lo tanto, en comparación con el ejemplo 8, la mejora del rendimiento dinámico y el rendimiento del ciclo de la batería es ligeramente peor en el ejemplo 21. En combinación con el ejemplo 22, la fuerza adhesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa es demasiado grande. Durante este proceso, se añade a la película de electrodo negativo una gran cantidad de aglutinante con mala conductividad, la densidad de energía de la batería se puede reducir, la conductividad de los electrones a través del colector de corriente negativa a la película de electrodo negativo es peor y la resistencia al intercambio de carga de iones de litio y electrones en la superficie del material activo negativo es mayor. Por lo tanto, en comparación con el ejemplo 9, la mejora del rendimiento dinámico y el rendimiento del ciclo de la batería también es ligeramente peor en el ejemplo 22.

De acuerdo con la divulgación anterior y los principios de la presente memoria descriptiva, un experto en la técnica también puede realizar variaciones y modificaciones a las maneras de implementación anteriores. Por lo tanto, la presente invención no está limitada a las maneras de implementación específicas divulgadas y descritas anteriormente, las modificaciones y variaciones de la presente invención también se deberían encontrar dentro del alcance de protección de las reivindicaciones de la presente invención. Por otra parte, aunque se utilizan terminologías específicas en la presente memoria descriptiva, estas terminologías son simplemente por conveniencia de la descripción y no pretenden limitar la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Una batería de iones de litio, que comprende una lámina de electrodo negativo y una lámina de electrodo positivo, donde
- 5 la lámina de electrodo positivo incluye un colector de corriente positiva y una película de electrodo positivo dispuesta en al menos una superficie del colector de corriente positiva y que comprende un material activo positivo, donde el material activo positivo comprende uno o más seleccionados de entre óxido de litio, níquel, cobalto y manganeso, fosfatos que contienen litio de tipo olivino;
- 10 la lámina de electrodo negativo comprende: un colector de corriente negativa y una película de electrodo negativo dispuesta en al menos una superficie del colector de corriente negativa y que comprende un material activo negativo, donde la película de electrodo negativo satisface: $8 \leq P \times [(30 - Dv50)/2 + 2 \times (10 - M)] \leq 12$; donde,
- 15 P representa una porosidad de la película de electrodo negativo; Dv50 representa un diámetro de partícula promedio de un volumen del material activo negativo, y una unidad es μm ; M representa una capacidad por unidad de área de la película de electrodo negativo, y una unidad es mAh/cm^2 ; y donde la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo es de 0.5 mAh/cm^2 ~7.0 mAh/cm^2 ,
- 20 caracterizada porque el material activo de electrodo negativo comprende grafito y porque una fuerza cohesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa y la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo satisfacen: $M/3 \leq F \leq 6M$, donde una unidad de F es N/m.
- 25 2. La batería de acuerdo con la reivindicación 1, donde la porosidad P de la película de electrodo negativo es de un 20 %-65 %.
- 30 3. La batería de acuerdo con la reivindicación 1, donde la porosidad P de la película de electrodo negativo es de un 22 %-55 %.
- 35 4. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde el diámetro de partícula promedio de un volumen Dv50 del material activo negativo es de 4 μm -20 μm .
- 40 5. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el diámetro de partícula promedio de un volumen Dv50 del material activo negativo es de 4 μm -16 μm .
- 45 6. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo es de 1.0 mAh/cm^2 ~5.5 mAh/cm^2 .
- 50 7. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde un peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo es de 1 mg/ cm^2 ~22 mg/ cm^2 .
- 55 8. La batería de acuerdo con la reivindicación 7, donde un peso del recubrimiento por unidad de área de la lámina de electrodo negativo es de 4 mg/ cm^2 ~12 mg/ cm^2 .
9. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizada porque la densidad de compactación PD de la película de electrodo negativo es de 0.8 g/ cm^3 ~2.0 g/ cm^3 .
10. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizada porque la densidad de compactación PD de la película de electrodo negativo es de 1.0 g/ cm^3 ~1.6 g/ cm^3 .
11. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizada porque:
- una fuerza cohesiva F entre la película de electrodo negativo y el colector de corriente negativa y la capacidad M por unidad de área de la película de electrodo negativo satisfacen: $M/2 \leq F \leq 5M$;
- donde,
- una unidad de F es N/m;
- una unidad de M es mAh/cm^2 .
12. La batería de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizada porque: el material activo negativo comprende además uno o más seleccionados de entre material de carbono, material a base de silicio, material a base de estaño y titanato de litio.
13. La batería de acuerdo con la reivindicación 12, donde el material activo negativo comprende además uno o más seleccionados de entre material de carbono y material a base de silicio.