

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 501**

51 Int. Cl.:

H01M 4/36 (2006.01)
H01M 4/38 (2006.01)
H01M 4/587 (2010.01)
H01M 4/62 (2006.01)
H01M 4/133 (2010.01)
H01M 4/1393 (2010.01)
H01M 4/134 (2010.01)
H01M 4/1395 (2010.01)
H01M 10/052 (2010.01)
H01M 4/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.01.2020** **PCT/KR2020/001045**
87 Fecha y número de publicación internacional: **30.07.2020** **WO20153728**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2020** **E 20746010 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024** **EP 3846257**

54 Título: **Material activo de electrodo negativo para batería secundaria de litio, y electrodo negativo y batería secundaria de litio que incluyen el mismo**

30 Prioridad:

21.01.2019 KR 20190007694

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2024

73 Titular/es:

LG ENERGY SOLUTION, LTD. (100.0%)
Tower 1, 108, Yeoui-daero, Yeongdeungpo-gu
Seoul 07335, KR

72 Inventor/es:

LEE, SU-MIN;
KIM, JE-YOUNG;
PARK, SE-MI y
LEE, YONG-JU

74 Agente/Representante:

BERTRÁN VALLS, Silvia

ES 2 986 501 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 para batería secundaria de litio, y electrodo negativo y batería secundaria de litio que incluyen el mismo

Campo técnico

La presente divulgación se refiere a un material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio, y a un electrodo negativo y a una batería secundaria de litio que incluyen el mismo. Más particularmente, la presente divulgación se refiere a un material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio que proporciona características de vida útil y características de salida mejoradas, y a un electrodo negativo y a una batería secundaria de litio que incluyen el mismo.

La presente solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente coreana n.º 10-2019-0007694 presentada el 21 de enero de 2019 en la República de Corea.

Antecedentes de la técnica

A medida que han aumentado el desarrollo técnico y las necesidades de instrumentos móviles, se han demandado cada vez más las baterías secundarias como fuentes de energía para tales instrumentos móviles. Entre tales baterías secundarias, se han comercializado y usado ampliamente baterías secundarias de litio que tienen alta tensión y densidad de energía, larga vida útil por ciclo y una baja tasa de descarga.

Una batería secundaria de litio tiene una estructura que incluye un conjunto de electrodos que tiene un electrodo positivo y un electrodo negativo, cada uno de los cuales incluye un material activo recubierto sobre un colector de corriente de electrodo, un separador poroso interpuesto entre el electrodo positivo y el electrodo negativo, y un electrolito que contiene sal de litio inyectado en el mismo. Cada electrodo se obtiene aplicando una suspensión que contiene un material activo, un aglutinante y un material conductor disperso en un disolvente, a un colector de corriente, seguido de secado y prensado.

Además, características fundamentales de una batería secundaria de litio, tales como la capacidad, la salida y la vida útil, se ven afectadas significativamente por el material activo de electrodo negativo. Para maximizar las características de la batería, se requiere un material activo de electrodo negativo que tenga un potencial de reacción electroquímica cercano al del metal de litio, muestre una alta reversibilidad de reacción con iones de litio y proporcione una alta tasa de difusión de iones de litio en el material activo. Como materiales que satisfacen tales requisitos, se han usado ampliamente materiales carbonosos.

Tales materiales activos carbonosos muestran alta estabilidad y reversibilidad, pero tienen una limitación en cuanto a capacidad. Por tanto, recientemente, se han usado materiales a base de Si que tienen alta capacidad teórica como materiales activos de electrodo negativo en los campos que requieren baterías de alta capacidad, tales como vehículos eléctricos, vehículos híbridos eléctricos, o similares.

Sin embargo, los materiales activos de electrodo negativo a base de Si son problemáticos porque experimentan un cambio en la estructura cristalina durante la intercalación de litio y el almacenamiento que provoca un hinchamiento volumétrico. Tal hinchamiento volumétrico provoca agrietamiento que provoca la rotura de partículas de material activo o un mal contacto entre el material activo y un colector de corriente, dando como resultado el problema de degradación de la vida útil por ciclo de carga/descarga de una batería.

El documento KR 2016/0001481A1 divulga un material activo de electrodo negativo que comprende una partícula porosa a base de silicio con una pluralidad de poros, y una parte espaciada, que comprende una capa de recubrimiento de carbono sobre una superficie de la partícula porosa a base de silicio. La capa de recubrimiento de carbono se forma cubriendo la partícula porosa a base de silicio y está entre la capa de recubrimiento de carbono y las partículas porosas a base de silicio.

El documento JP 2013-180935A divulga un electrodo negativo para una batería secundaria de electrolito no acuoso, que comprende un óxido de silicio producido calentando dióxido de silicio (SiO₂) y silicio (Si) o carbono (C) bajo una atmósfera que tiene una concentración de oxígeno de ≤ 0,5 % en volumen usando un horno de arco.

Divulgación

Problema técnico

La presente divulgación está diseñada para resolver los problemas de la técnica relacionada y, por tanto, la presente divulgación está dirigida a proporcionar un material activo de electrodo negativo a base de silicio que proporcione características de vida útil y características de salida mejoradas.

La presente divulgación también se dirige a proporcionar un electrodo negativo que incluye el material activo de electrodo negativo, y una batería secundaria de litio que incluye el mismo.

Solución técnica

5 En un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en una cualquiera de las siguientes realizaciones.

10 Según la primera realización de la presente divulgación, se proporciona un material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio que incluye: partículas de silicio; y una capa de recubrimiento que rodea las partículas de silicio, en el que las partículas de silicio tienen una anchura total a media altura (FWHM) de pico que oscila entre 2 y 10 en la distribución de diámetro de partícula que tiene un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm , y la capa de recubrimiento incluye al menos uno de carbono y un polímero.

15 Según la segunda realización de la presente divulgación, se proporciona el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en la primera realización, en el que las partículas de silicio tienen una anchura total a media altura de 4-8.

20 Según la tercera realización de la presente divulgación, se proporciona el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en una cualquiera de la primera a la tercera realizaciones, en el que la capa de recubrimiento está presente en una cantidad de 3-10 partes en peso basado en 100 partes en peso de las partículas de silicio.

25 Según la cuarta realización de la presente divulgación, se proporciona el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en una cualquiera de la primera a la tercera realizaciones, en el que el polímero es poliacrilato, poliacrilonitrilo o una mezcla de los mismos.

30 Según la quinta realización de la presente divulgación, se proporciona el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en una cualquiera de la primera a la cuarta realizaciones, en el que el carbono en la capa de recubrimiento deriva de brea, acetileno, metano, carbono amorfo, grafito natural, grafito artificial, carbono activado, micropérlas de mesocarbono, fibras de carbono, o una mezcla de dos o más de ellos.

35 Según la sexta realización de la presente divulgación, se proporciona el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en una cualquiera de la primera a la quinta realizaciones, que incluye además grafito, carbono blando, carbono duro, o una mezcla de dos o más de ellos.

En otro aspecto de la presente divulgación, también se proporciona un electrodo negativo tal como se define en la siguiente realización.

40 Según la séptima realización de la presente divulgación, se proporciona un electrodo negativo que incluye un colector de corriente, y una capa de material activo de electrodo negativo dispuesta al menos sobre una superficie del colector de corriente, en el que la capa de material activo de electrodo negativo incluye el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio tal como se define en una cualquiera de la primera a la sexta realizaciones.

45 En todavía otro aspecto de la presente divulgación, también se proporciona una batería secundaria de litio tal como se define en la siguiente realización.

50 Según la octava realización de la presente divulgación, también se proporciona una batería secundaria de litio que incluye el electrodo negativo tal como se define en la séptima realización.

Efectos ventajosos

55 El material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según una realización de la presente divulgación incluye partículas de silicio específicas, es decir, partículas de silicio que satisfacen una anchura total a media altura (FWHM) de pico que oscila entre 2 y 10 en la distribución de diámetro de partícula que tiene un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1~30 μm , y una capa de recubrimiento que rodea las partículas de silicio, en la que la capa de recubrimiento incluye al menos uno de carbono y un polímero. Por tanto, es posible mejorar significativamente tanto las características de vida útil como las características de salida de una batería secundaria.

Descripción de los dibujos

65 Los dibujos adjuntos ilustran una realización preferida de la presente divulgación y, junto con la divulgación anterior, sirven para proporcionar una comprensión adicional de las características técnicas de la presente divulgación y, por tanto, la presente divulgación no se considera limitada al dibujo.

La figura 1 es un gráfico de distribución de diámetro de partícula de las partículas de silicio contenidas en el material activo de electrodo negativo según una realización de la presente divulgación.

La figura 2 es una vista esquemática que ilustra el material activo de electrodo negativo según una realización de la presente divulgación.

La figura 3 es una vista esquemática que ilustra el material activo de electrodo negativo según otra realización de la presente divulgación.

La figura 4 es una vista esquemática que ilustra el material activo de electrodo negativo según todavía otra realización de la presente divulgación.

Mejor modo

A continuación en el presente documento, se describirán realizaciones preferidas de la presente divulgación en detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Antes de la descripción, debe entenderse que los términos usados en la memoria descriptiva y las reivindicaciones adjuntas no deben interpretarse como limitados a significados generales y de diccionario, sino interpretarse basándose en los significados y conceptos correspondientes a aspectos técnicos de la presente divulgación basándose en el principio de que se permite que el inventor defina términos de manera apropiada para la mejor explicación.

En un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio que incluye: partículas de silicio; y una capa de recubrimiento que rodea las partículas de silicio, en el que las partículas de silicio tienen una anchura total a media altura (FWHM) de pico que oscila entre 2 y 10 en la distribución de diámetro de partícula que tiene un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm , y la capa de recubrimiento incluye al menos uno de carbono y un polímero.

Las partículas de silicio contenidas en el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según una realización de la presente divulgación pueden tener un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm , o 2-28 μm . Las partículas de silicio pueden tener una anchura total a media altura (FWHM) de pico que oscila entre 2 y 10, o entre 4 y 8, en la distribución de diámetro de partícula que tiene un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm .

Tal como se usa en el presente documento, "diámetro de partícula promedio (D_{50})" significa el diámetro de partícula correspondiente al 50 % de acumulación de volumen basado en la cantidad de partículas en la distribución de diámetro de partícula determinada mediante análisis de distribución de partículas por difracción láser.

Tal como se usa en el presente documento, "anchura total a media altura (FWHM)" se refiere a la uniformidad de la distribución de diámetro de partícula representada por un número. Por ejemplo, puede calcularse FWHM ajustando una curva de distribución de diámetro de partícula usando la distribución lorentziana y calculando la anchura a 1/2 de pico en una curva de distribución de un único pico. De esta manera, la figura 1 muestra un gráfico de distribución de diámetro de partícula de las partículas de silicio contenidas en el material activo de electrodo negativo según una realización de la presente divulgación.

Según la presente divulgación, cuando las partículas de silicio tienen una FWHM menor de 2, el número de partículas que tienen el mismo tamaño es excesivamente grande de modo que se reduce relativamente el contacto entre partículas, dando como resultado el problema de degradación de las características de vida útil. Además, cuando las partículas de silicio tienen una FWHM mayor de 10, la distribución de diámetro de partícula se vuelve no uniforme y, por tanto, aumenta excesivamente el contacto entre las partículas para provocar el bloqueo de poros y un aumento de la resistencia, dando como resultado el problema de degradación de las características de salida.

En el presente documento, las partículas de silicio satisfacen una anchura total a media altura (FWHM) de 2-10 en la distribución de diámetro de partícula que tiene un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm pueden ser aquellas que tienen un tamaño controlado separando partículas excesivamente pequeñas (polvo fino) y partículas grandes (polvo grande) a través de un molino clasificador por aire. El molino clasificador por aire es un pulverizador fino especial equipado con un separador por aire en el mismo, y es ventajoso para controlar el diámetro de partícula inhibiendo la pulverización excesiva de un material, mientras proporciona una alta eficiencia de pulverización. Después de que se introduce el material correspondiente en dicho molino clasificador por aire, se controla la rotación del separador por aire de modo que la distribución de diámetro de partícula del material pueda controlarse a un nivel deseado. Por ejemplo, el separador por aire puede hacerse funcionar a 6.000-9.000 rpm, o 7.000-8.000 rpm.

Según una realización de la presente divulgación, las partículas de silicio pueden ser partículas de silicio en forma de fragmentos o partículas de silicio secundarias formadas mediante la agregación de partículas de silicio primarias que tienen un diámetro de partícula pequeño, o pueden incluir ambas.

Cuando las partículas de silicio son partículas secundarias, puede lograrse la agregación de partículas mediante un aglutinante carbonoso, que incluye un producto cocido de precursor carbonoso, tal como brea, que confiere fuerza de unión. Tales partículas de silicio de tipo partícula secundaria agregadas pueden ser ventajosas para la mejora de las características de vida útil de una batería secundaria de litio.

Tal como se ha descrito anteriormente, el material activo de electrodo negativo según la presente divulgación incluye una capa de recubrimiento que rodea las partículas de silicio, y la capa de recubrimiento incluye al menos uno de carbono y un polímero. Dicho de otro modo, la capa de recubrimiento puede incluir carbono y un polímero, un polímero solo, o carbono solo.

La capa de recubrimiento se forma sobre las partículas de silicio, particularmente sobre la superficie exterior de las partículas de silicio.

El material activo de electrodo negativo tal como se muestra en la figura 2 incluye una capa de recubrimiento que rodea la partícula de silicio y la capa de recubrimiento incluye carbono y un polímero, en el que se forma en primer lugar una capa 20 de recubrimiento de carbono en el exterior de las partículas 10 de silicio, y luego se forma una capa 30 de recubrimiento de polímero en el exterior de la capa 20 de recubrimiento de carbono.

El material activo de electrodo negativo ilustrado en la figura 3 incluye una capa de recubrimiento que rodea la partícula de silicio, en el que la capa de recubrimiento incluye carbono solo y se forma una capa 20 de recubrimiento de carbono en el exterior de las partículas 10 de silicio.

El material activo de electrodo negativo ilustrado en la figura 4 incluye una capa de recubrimiento que rodea la partícula de silicio, en el que la capa de recubrimiento incluye un polímero solo y se forma una capa 30 de recubrimiento de polímero en el exterior de las partículas 10 de silicio.

La capa de recubrimiento se forma sobre las partículas de silicio. Por tanto, cuando las partículas de silicio experimentan un cambio en el volumen debido a la intercalación/desintercalación de litio en las partículas de silicio, es posible impedir o reducir la pulverización de las partículas de silicio e impedir o reducir eficazmente las reacciones secundarias entre las partículas de silicio y un electrolito. Además, la capa de recubrimiento permite que el material activo de electrodo negativo acabado esté dotado de una excelente conductividad para facilitar la reacción con litio.

Cuando la capa de recubrimiento incluye carbono y un polímero, el carbono y el polímero pueden incorporarse a una única capa de recubrimiento, o pueden formarse capas de recubrimiento individuales que contienen, cada una, carbono y el polímero. Cuando se forman capas de recubrimiento individuales, puede formarse en primer lugar una capa de recubrimiento de carbono sobre la superficie de las partículas de silicio, y puede formarse luego una capa de recubrimiento de polímero sobre la capa de recubrimiento de carbono. En una variante, puede formarse en primer lugar una capa de recubrimiento de polímero sobre la superficie de las partículas de silicio, y puede formarse luego una capa de recubrimiento de carbono sobre la capa de recubrimiento de polímero. Además, pueden formarse tres o más capas de recubrimiento sobre la superficie de las partículas de silicio, en las que cada capa puede seleccionarse de una capa de recubrimiento de carbono, una capa de recubrimiento de polímero y una capa de recubrimiento combinada de carbono con un polímero, y las capas de recubrimiento pueden tener diversas combinaciones de las mismas.

En la capa de recubrimiento, el carbono puede derivar de brea (tal como brea de alquitrán de hulla, brea de petróleo, etc.), acetileno, metano, carbono amorfo, grafito natural, grafito artificial, carbono activado, microperlas de mesocarbono (MCMB), fibras de carbono, o dos o más de tales fuentes de carbono.

Cuando la capa de recubrimiento incluye carbono y un polímero, el polímero puede incorporarse a la misma capa de recubrimiento junto con carbono, o incorporarse a una capa de recubrimiento individual sola, tal como se mencionó anteriormente.

El polímero contenido en la capa de recubrimiento ayuda a la retención de la unión física entre las partículas de silicio y el carbono en la capa de recubrimiento y, por tanto, inhibe la separación de la capa de recubrimiento de carbono provocada por un cambio en el volumen de las partículas de silicio, cuando las partículas de silicio experimentan un cambio en el volumen debido a la intercalación/desintercalación de litio. Además, el polímero puede aceptar un cambio de este tipo en el volumen de las partículas de silicio y, por tanto, es posible inhibir eficazmente los problemas provocados por un cambio en el volumen de las partículas de silicio.

El polímero contenido en la capa de recubrimiento no está particularmente limitado, siempre que pueda proporcionar una alta conductividad eléctrica. Los ejemplos particulares del polímero pueden incluir poliácido, poliácridonitrilo, poli(óxido de etileno), polivinil-pirrolidona, poli(ácido acrílico), poli(alcohol vinílico), polietilen-imina, poliácetileno, poliparafenileno, polipirrol, polianilina, o una mezcla de dos o más de ellos.

La capa de recubrimiento de polímero formada usando un polímero solo puede ser una única capa de recubrimiento

o una multicapa que tiene dos o más capas apiladas sucesivamente. Cuando la capa de recubrimiento de polímero es una multicapa, dos o más capas de recubrimiento que forman la multicapa pueden incluir el mismo tipo de polímero o diferentes tipos de polímeros, en la que cada una de las capas de recubrimiento puede tener el mismo grosor o grosores diferentes.

Cuando el tamaño promedio de los poros satisface el intervalo definido anteriormente, es posible garantizar un espacio adecuado para aliviar el hinchamiento volumétrico de las partículas de silicio, mientras permite la permeación adecuada de un electrolito a través de los poros. También es posible retener una unión física adecuada de modo que la capa de recubrimiento de carbono no pueda separarse de las partículas de silicio.

El material activo de electrodo negativo según una realización de la presente divulgación puede prepararse mediante las etapas de: formar una capa de recubrimiento de carbono sobre partículas de silicio; y formar una capa de recubrimiento de polímero sobre la capa de recubrimiento de carbono. En una variante, puede prepararse el material activo de electrodo negativo según una realización de la presente divulgación mediante la etapa de formar una capa de recubrimiento de polímero sobre partículas de silicio, o formar una capa de recubrimiento de carbono sobre partículas de silicio.

La etapa de formar una capa de recubrimiento de carbono sobre partículas de silicio puede llevarse a cabo permitiendo que crezca carbono sobre las partículas de silicio, formándose de ese modo un material compuesto. Por ejemplo, puede usarse al menos un material seleccionado de carbono amorfo, grafito natural, grafito artificial, carbono activado, micropérlas de mesocarbono (MCMB), fibras de carbono, brea (brea de alquitrán de hulla, brea de petróleo), acetileno, metano y otros materiales orgánicos para formar una capa de recubrimiento a través de un proceso de deposición química en fase de vapor (CVD), proceso de recubrimiento (aplicado en el caso de brea), proceso de evaporación de disolvente, proceso de coprecipitación, proceso de precipitación, proceso de tipo sol-gel, o proceso de pulverización catódica.

La etapa de formar una capa de recubrimiento de polímero puede llevarse a cabo recubriendo un material que forma la capa de recubrimiento de polímero directamente sobre la capa de recubrimiento de carbono o partículas de silicio. Por ejemplo, puede usarse poliacrilato, poliácilonitrilo, poli(óxido de etileno), polivinil-pirrolidona, poli(ácido acrílico), poli(alcohol vinílico), polietilen-imina, o una mezcla de los mismos para formar una capa de recubrimiento a través de un proceso de deposición química en fase de vapor (CVD), proceso de evaporación de disolvente, proceso de coprecipitación, proceso de precipitación, proceso de tipo sol-gel o un proceso de pulverización catódica.

Tal como se ha descrito anteriormente, la capa de recubrimiento de polímero puede ser una única capa o multicapa que tiene dos o más capas apiladas sucesivamente. En el caso de una multicapa, el método para preparar un material activo de electrodo negativo puede incluir además una etapa de formar una capa de recubrimiento de polímero adicional sobre la capa de recubrimiento de polímero formada previamente.

En otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona un electrodo negativo que incluye el material activo de electrodo negativo que proporciona características de vida útil y características de salida mejoradas.

Particularmente, el electrodo negativo según una realización de la presente divulgación incluye un colector de corriente, y una capa de material activo de electrodo negativo que incluye el material activo de electrodo negativo según la presente divulgación al menos sobre una superficie del colector de corriente.

El electrodo puede obtenerse recubriendo una suspensión para una capa de material activo de electrodo negativo, preparada dispersando el material activo de electrodo negativo según la presente divulgación, un aglutinante y un material conductor en un disolvente, al menos en una superficie del colector de corriente, seguido de secado y prensado.

El colector de corriente no está particularmente limitado, siempre que no provoque ningún cambio químico en la batería correspondiente y tenga conductividad. Los ejemplos particulares del colector de corriente pueden incluir cobre, acero inoxidable, aluminio, níquel, titanio, carbono recocido, cobre o acero inoxidable tratados en superficie con carbono, níquel, titanio o plata, aleación de aluminio-cadmio, o similar. Aunque el grosor del colector de corriente no está particularmente limitado, el colector de corriente puede tener un grosor de 3-500 μm tal como se usa actualmente.

El material activo de electrodo negativo puede usarse en una cantidad del 80-99 % en peso basado en el peso total de la composición de suspensión de electrodo negativo.

El aglutinante es un componente que ayuda a la unión entre el material activo de electrodo y el material conductor y a la unión al colector de corriente. En general, el aglutinante se usa en una cantidad del 0,1-20 % en peso basado en el peso total de la composición de suspensión de electrodo negativo. Los ejemplos particulares del aglutinante incluyen poli(fluoruro de vinilideno)-co-hexafluoropropileno (PVDF-co-HFP), poli(fluoruro de vinilideno), poliácilonitrilo, poli(metacrilato de metilo), poli(alcohol vinílico), carboximetil-celulosa (CMC), almidón, hidroxipropil-celulosa, celulosa regenerada, polivinil-pirrolidona, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, poli(ácido acrílico),

caucho de estireno-butadieno (SBR), poli(acrilato de litio) (Li-PAA), o similar. Más particularmente, el poli(acrilato de litio) puede conferir una mayor adhesión en comparación con los otros aglutinantes, tales como SBS/CMC, cuando se usa para un electrodo negativo que incluye un material activo que tiene un alto contenido de silicio de aproximadamente el 80 %. En virtud de la característica mencionada anteriormente, el poli(acrilato de litio) es ventajoso porque es posible lograr una alta retención de capacidad durante la carga/descarga, cuando se usa poli(acrilato de litio) para un electrodo negativo a base de Si.

El material conductor no está particularmente limitado, siempre que no provoque ningún cambio químico en la batería correspondiente y tenga conductividad. Los ejemplos particulares del material conductor incluyen: negro de carbono, tal como negro de carbono, negro de acetileno, negro de Ketjen, negro de canal, negro de horno, negro de lámpara o negro térmico; fibras conductoras, tales como fibras de carbono o fibras metálicas; fluorocarbono; polvo metálico, tal como polvo de aluminio o níquel; fibras cortas monocristalinas conductoras, tales como de óxido de zinc o titanato de potasio; óxido metálico conductor, tal como óxido de titanio; o similar. El material conductor puede añadirse en una cantidad del 0,1-20 % en peso, basado en el peso total de la composición de suspensión de electrodo negativo.

El medio de dispersión puede incluir agua o un disolvente orgánico (tal como N-metil-2-pirrolidona (NMP)), y puede usarse en una cantidad tal que la suspensión de electrodo negativo que incluye el material activo de electrodo negativo opcionalmente con un aglutinante y material conductor pueda tener un nivel deseado de viscosidad.

Además, no hay ninguna limitación particular en el proceso de recubrimiento de la suspensión de electrodo negativo, siempre que sea un método usado actualmente en la técnica. Por ejemplo, puede usarse un proceso de recubrimiento que usa una boquilla ranurada. Además de esto, puede usarse un proceso de recubrimiento con barra de Mayer, un proceso de recubrimiento por huecogrado, un proceso de recubrimiento por inmersión, un proceso de recubrimiento por rociado, etc.

En todavía otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona una batería secundaria de litio que incluye el electrodo negativo. Particularmente, puede obtenerse la batería secundaria de litio inyectando un electrolito que contiene sal de litio a un conjunto de electrodos que incluye un electrodo positivo, el electrodo negativo descrito anteriormente y un separador interpuesto entre el electrodo positivo y el electrodo negativo.

El electrodo positivo puede obtenerse mezclando un material activo de electrodo positivo, material conductor, aglutinante y un disolvente para formar una suspensión y recubriendo con la suspensión directamente sobre un colector de corriente de metal, o colando la suspensión sobre un soporte independiente, despegando una película de material activo de electrodo positivo del soporte y laminando la película sobre un colector de corriente de metal.

El material activo de electrodo positivo usado en la capa de material activo de electrodo positivo puede ser un material activo cualquiera seleccionado del grupo que consiste en LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{Li}_2\text{Mn}_2\text{O}_4$, LiCoPO_4 , LiFePO_4 y $\text{LiNi}_{1-x-y-z}\text{Co}_x\text{M}_1\text{M}_2\text{O}_2$ (en la que cada uno de M_1 y M_2 representa independientemente uno cualquiera seleccionado del grupo que consiste en Al, Ni, Co, Fe, Mn, V, Cr, Ti, W, Ta, Mg y Mo, cada uno de x , y y z representa independientemente la razón atómica de un óxido formador de elementos, y $0 \leq x < 0,5$, $0 \leq y < 0,5$, $0 \leq z < 0,5$, y $0 < x + y + z < 1$), o una mezcla de al menos dos de ellos.

Mientras tanto, puede usarse el mismo material conductor, aglutinante y disolvente que se usan para fabricar el electrodo negativo.

El separador puede ser una película polimérica porosa convencional usada convencionalmente como separador. Por ejemplo, la película polimérica porosa puede ser una película polimérica porosa que se compone de un polímero de poliolefina, tal como homopolímero de etileno, homopolímero de propileno, copolímero de etileno-buteno, copolímero de etileno/hexeno o copolímero de etileno/metacrilato. Una película polimérica porosa de este tipo puede usarse sola o en forma de un material laminado. Además, puede usarse una película delgada aislante que tiene alta permeabilidad iónica y resistencia mecánica. El separador puede incluir un separador reforzado de seguridad (SRS) que incluye un material cerámico recubierto sobre la superficie del separador hasta un pequeño grosor. Además, puede usarse una tela no tejida porosa convencional, tal como una tela no tejida que se compone de fibras de vidrio de alto punto de fusión o fibras de poli(tereftalato de etileno), pero el alcance de la presente divulgación no se limita a ello.

El electrolito incluye una sal de litio como sal de electrolito y un disolvente orgánico para disolver la sal de litio.

Puede usarse sin limitación particular cualquier sal de litio usada convencionalmente para un electrolito para una batería secundaria. Por ejemplo, el anión de la sal de litio puede ser uno cualquiera seleccionado del grupo que consiste en F^- , Cl^- , Br^- , I^- , NO_3^- , $\text{N}(\text{CN})_2^-$, BF_4^- , ClO_4^- , PF_6^- , $(\text{CF}_3)_2\text{PF}_4^-$, $(\text{CF}_3)_3\text{PF}_3^-$, $(\text{CF}_3)_4\text{PF}_2^-$, $(\text{CF}_3)_5\text{PF}^-$, $(\text{CF}_3)_6\text{P}^-$, CF_3SO_3^- , $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{SO}_3^-$, $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$, $(\text{FSO}_2)_2\text{N}^-$, $\text{CF}_3\text{CF}_2(\text{CF}_3)_2\text{CO}^-$, $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{CH}^-$, $(\text{SF}_5)_3\text{C}^-$, $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3\text{C}^-$, $\text{CF}_3(\text{CF}_2)_7\text{SO}_3^-$, CF_3CO_2^- , CH_3CO_2^- , SCN^- , y $(\text{CF}_3\text{CF}_2\text{SO}_2)_2\text{N}^-$.

El disolvente orgánico contenido en el electrolito puede ser cualquier disolvente orgánico usado convencionalmente

sin limitación particular. Los ejemplos típicos del disolvente orgánico incluyen al menos uno seleccionado del grupo que consiste en carbonato de propileno, carbonato de etileno, carbonato de dietilo, carbonato de dimetilo, carbonato de etilo y metilo, carbonato de metilo y propilo, carbonato de dipropilo, dimetilsulfóxido, acetonitrilo, dimetoxietano, dietoxietano, carbonato de vinileno, sulfolano, gamma-butirolactona, sulfito de propileno, y tetrahidrofurano.

Particularmente, entre los disolventes orgánicos a base de carbonato, el carbonato de etileno y el carbonato de propileno, que son carbonatos cíclicos, son disolventes orgánicos que tienen alta viscosidad y una alta constante dieléctrica y, por tanto, pueden usarse preferiblemente, puesto que pueden disociar la sal de litio en el electrolito con facilidad. Cuando se usa un carbonato cíclico de este tipo después de mezclarlo con un carbonato lineal que tiene baja viscosidad y una baja constante dieléctrica, tal como carbonato de dimetilo o carbonato de dietilo, es posible preparar un electrolito que tiene una mayor conductividad eléctrica, más preferiblemente.

Opcionalmente, el electrolito usado según la presente divulgación puede incluir además aditivos contenidos en el electrolito convencional, tales como un agente de prevención de sobrecarga, o similar.

La batería secundaria de litio según una realización de la presente divulgación puede obtenerse interponiendo el separador entre el electrodo positivo y el electrodo negativo para formar un conjunto de electrodos, introduciendo el conjunto de electrodos en una bolsa, carcasa de batería cilíndrica o una carcasa de batería prismática, y luego inyectando el electrolito en la misma para terminar una batería secundaria. De lo contrario, puede obtenerse la batería secundaria de litio apilando los conjuntos de electrodos, impregnando la pila con el electrolito e introduciendo el producto resultante en una carcasa de batería, seguido por sellado.

Según una realización de la presente divulgación, la batería secundaria de litio puede ser una batería de tipo apilado, de tipo enrollado, de tipo apilado y plegado o de tipo cable.

La batería secundaria de litio según la presente divulgación puede usarse para una celda de batería usada como fuente de alimentación para un dispositivo compacto, y puede usarse preferiblemente como batería unitaria para un módulo de batería de tamaño mediano o grande que incluye una pluralidad de celdas de batería. Los ejemplos particulares de tales dispositivos de tamaño mediano o grande incluyen vehículos eléctricos, vehículos híbridos eléctricos, vehículos híbridos eléctricos enchufables, sistemas de almacenamiento de energía o similares. Particularmente, la batería secundaria de litio puede ser útil para baterías para vehículos híbridos eléctricos y baterías de almacenamiento de energía nuevas y renovables, que requieren un alto rendimiento.

Se describirán ejemplos con más detalle a continuación en el presente documento para que la presente divulgación pueda entenderse con facilidad. Sin embargo, los siguientes ejemplos pueden realizarse de muchas formas diferentes y no deben considerarse limitados a las realizaciones a modo de ejemplo expuestas en ellos. Más bien, estas realizaciones a modo de ejemplo se proporcionan para que la presente divulgación sea minuciosa y completa, y transmita completamente el alcance de la presente divulgación a los expertos habituales en la técnica.

Ejemplo 1:

<Fabricación de material activo de electrodo negativo y electrodo negativo>

Se introdujeron partículas de Si en un molino clasificador por aire (TC-15, Nisshin Engineering), y entonces se hizo funcionar el molino a una velocidad de rotación de 8.000 rpm para retirar polvo fino y polvo de gran tamaño, proporcionando de ese modo partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 5 μm y una anchura total a media altura (FWHM) de 4.

Se introdujeron las partículas de silicio resultantes en una cámara de CVD térmica y se suministró a la misma un gas mixto de gas etileno con argón, seguido de calentamiento a 800 °C, formándose de ese modo una capa de recubrimiento de carbono sobre las partículas de silicio. Se sumergieron las partículas de silicio que tenían una capa de recubrimiento de carbono en N-metil-2-pirrolidona (NMP) que contenía poli(acrilonitrilo) (PAN) y se llevó a cabo agitación suficientemente usando un agitador. Se recibió el producto agitado en un matraz de fondo redondo de 2 l y se retiró la NMP usando un calentador rotatorio para obtener un material activo de electrodo negativo que incluía una capa de recubrimiento que rodeaba las partículas de silicio, en el que la capa de recubrimiento incluía carbono y un polímero. Particularmente, se formó la capa de recubrimiento de carbono sobre la superficie de las partículas de silicio y se formó la capa de recubrimiento de polímero sobre la capa de recubrimiento de carbono.

Se mezclaron el material activo de electrodo negativo resultante, negro de carbono como material conductor, poli(acrilato de litio) (Li-PAA) como aglutinante en una razón en peso de 80:10:10 y se añadió la mezcla resultante a agua destilada como medio de dispersión para obtener una suspensión de electrodo negativo. Se aplicó la suspensión de electrodo negativo a un colector de corriente, lámina de cobre que tenía un grosor de 20 μm , seguido de secado. Durante el secado, el aire en circulación tenía una temperatura de 60 °C. Luego, se llevó a cabo prensado usando una prensa de rodillos y se llevó a cabo secado en un horno de vacío a 130 °C durante 12 horas, seguido de corte para dar una conformación circular que tenía un área de 1,4875 cm^2 . De esta manera, se obtuvo un

electrodo negativo.

<Fabricación de batería secundaria de litio>

Se usó el electrodo negativo resultante como electrodo de trabajo y se usó como contraelectrodo lámina de metal de Li cortada para dar una conformación circular que tenía un área de 1,7671 cm². Además, se interpuso un separador de polietileno poroso entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo para formar un conjunto de electrodos. Luego, se disolvió carbonato de vinileno (VC) como aditivo para electrolito no acuoso al 0,5 % en peso en un disolvente mixto que contenía carbonato de etilo y metilo (EMC) y carbonato de etileno (EC) en una razón en volumen de 7:3 y se añadió al mismo LiPF₆ 1 M para preparar un electrolito no acuoso. Se recibió el conjunto de electrodos en una carcasa de tipo botón y se inyectó el electrolito no acuoso en la misma para obtener una batería secundaria de semicelda de tipo botón.

Ejemplo 2:

<Fabricación de material activo de electrodo negativo y electrodo negativo>

Se introdujeron partículas de Si en un molino clasificador por aire (TC-15, Nisshin Engineering), y entonces se hizo funcionar el molino a una velocidad de rotación de 8.000 rpm para retirar polvo fino y polvo de gran tamaño, proporcionando de ese modo partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 μm y una anchura total a media altura (FWHM) de 4.

Se sumergieron las partículas de silicio resultantes en N-metil-2-pirrolidona (NMP) que contenía poli(acrilonitrilo) (PAN) y se llevó a cabo agitación suficientemente usando un agitador. Se recibió el producto agitado en un matraz de fondo redondo de 2 l y se retiró la NMP usando un calentador rotatorio para obtener un material activo de electrodo negativo que incluía una capa de recubrimiento que rodeaba las partículas de silicio, en el que la capa de recubrimiento incluía un polímero.

Se mezclaron el material activo de electrodo negativo resultante, negro de carbono como material conductor, poli(acrilato de litio) (Li-PAA) como aglutinante en una razón en peso de 80:10:10 y se añadió la mezcla resultante a agua destilada como medio de dispersión para obtener una suspensión de electrodo negativo. Se aplicó la suspensión de electrodo negativo a un colector de corriente, lámina de cobre que tenía un grosor de 20 μm, seguido de secado. Durante el secado, el aire en circulación tenía una temperatura de 60 °C. Luego, se llevó a cabo prensado usando una prensa de rodillos y se llevó a cabo secado en un horno de vacío a 130 °C durante 12 horas, seguido de corte para dar una conformación circular que tenía un área de 1,4875 cm². De esta manera, se obtuvo un electrodo negativo.

<Fabricación de batería secundaria de litio>

Se usó el electrodo negativo resultante como electrodo de trabajo y se usó como contraelectrodo lámina de metal de Li cortada para dar una conformación circular que tenía un área de 1,7671 cm². Además, se interpuso un separador de polietileno poroso entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo para formar un conjunto de electrodos. Luego, se disolvió carbonato de vinileno (VC) como aditivo para electrolito no acuoso al 0,5 % en peso en un disolvente mixto que contenía carbonato de etilo y metilo (EMC) y carbonato de etileno (EC) en una razón en volumen de 7:3 y se añadió al mismo LiPF₆ 1 M para preparar un electrolito no acuoso. Se recibió el conjunto de electrodos en una carcasa de tipo botón y se inyectó el electrolito no acuoso en la misma para obtener una batería secundaria de semicelda de tipo botón.

Ejemplo 3:

<Fabricación de material activo de electrodo negativo y electrodo negativo>

Se introdujeron partículas de Si en un molino clasificador por aire (TC-15, Nisshin Engineering), y entonces se hizo funcionar el molino a una velocidad de rotación de 8.000 rpm para retirar polvo fino y polvo de gran tamaño, proporcionando de ese modo partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 μm y una anchura total a media altura (FWHM) de 4.

Se introdujeron las partículas de silicio resultantes en una cámara de CVD térmica y se suministró a la misma un gas mixto de gas etileno con argón, seguido de calentamiento a 800 °C, formándose de ese modo una capa de recubrimiento de carbono sobre las partículas de silicio.

Se mezclaron el material activo de electrodo negativo resultante, negro de carbono como material conductor, poli(acrilato de litio) (Li-PAA) como aglutinante en una razón en peso de 80:10:10 y se añadió la mezcla resultante a agua destilada como medio de dispersión para obtener una suspensión de electrodo negativo. Se aplicó la suspensión de electrodo negativo a un colector de corriente, lámina de cobre que tenía un grosor de 20 μm, seguido

de secado. Durante el secado, el aire en circulación tenía una temperatura de 60 °C. Luego, se llevó a cabo prensado usando una prensa de rodillos y se llevó a cabo secado en un horno de vacío a 130 °C durante 12 horas, seguido de corte para dar una conformación circular que tenía un área de 1,4875 cm². De esta manera, se obtuvo un electrodo negativo.

<Fabricación de batería secundaria de litio>

Se usó el electrodo negativo resultante como electrodo de trabajo y se usó como contraelectrodo lámina de metal de Li cortada para dar una conformación circular que tenía un área de 1,7671 cm². Además, se interpuso un separador de polietileno poroso entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo para formar un conjunto de electrodos. Luego, se disolvió carbonato de vinileno (VC) como aditivo para electrolito no acuoso al 0,5 % en peso en un disolvente mixto que contenía carbonato de etilo y metilo (EMC) y carbonato de etileno (EC) en una razón en volumen de 7:3 y se añadió al mismo LiPF₆ 1 M para preparar un electrolito no acuoso. Se recibió el conjunto de electrodos en una carcasa de tipo botón y se inyectó el electrolito no acuoso en la misma para obtener una batería secundaria de semicelda de tipo botón.

Ejemplo 4:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 1, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 8.

Ejemplo 5:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 2, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 8.

Ejemplo 6:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 3, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 8.

Ejemplo comparativo 1:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 1, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 1.

Ejemplo comparativo 2:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 1, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 11.

Ejemplo comparativo 3:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 1, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 15.

Ejemplo comparativo 4:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 2, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 15.

Ejemplo comparativo 5:

Se obtuvieron un material activo de electrodo negativo, electrodo negativo y una batería secundaria de litio de la misma manera que se describe en el ejemplo 3, excepto que se usaron partículas de Si (silicio) que tenían un diámetro de partícula promedio (D₅₀) de 5 µm y una anchura total a media altura (FWHM) de 15.

<Métodos de prueba>

Métodos para determinar el diámetro de partícula promedio y la anchura total a media altura

En los ejemplos 1-6 y los ejemplos comparativos 1-5, se determinó el “diámetro de partícula promedio (D_{50})” dispersando partículas de silicio en agua desionizada al 1 % en peso para preparar muestras, y midiendo una diferencia en el patrón de difracción dependiendo del tamaño de partícula cuando las partículas pasan a través de haces de láser usando un analizador de tamaño de partícula por difracción láser (Microtrac S3500) para obtener la distribución de diámetro de partícula. Dicho de otro modo, “diámetro de partícula promedio (D_{50})” significa el diámetro de partícula correspondiente al 50 % de acumulación de volumen basado en la cantidad de partículas en la distribución de diámetro de partícula determinada mediante análisis de distribución de partículas por difracción láser.

Además, se calculó la “anchura total a media altura (FWHM)” de las partículas de Si según cada uno de los ejemplos 1-6 y los ejemplos comparativos 1-5 midiendo la anchura de pico en el punto correspondiente a 1/2 del mismo en la curva de distribución de diámetro de partícula obtenida previamente.

Evaluación de las características de vida útil de la batería secundaria

Se evaluó cada una de las baterías secundarias de litio según los ejemplos 1-6 y los ejemplos comparativos 1-5 en cuanto a características de vida útil. En el presente documento, se evaluaron las características de vida útil de cada batería secundaria como retención de capacidad por ciclo.

Para someter a prueba la retención de capacidad por ciclo, se cargó/descargó cada batería a 0,1 C durante el primer ciclo y el segundo ciclo, y a 0,5 C durante el tercer ciclo o ciclos posteriores (condiciones de carga: corriente constante/tensión constante (CC/CV), corte de 5 mV/0,005 C, condiciones de descarga: CC, corte de 1,5V).

Se calculó la retención de capacidad por ciclo según la siguiente fórmula:

Retención de capacidad por ciclo (%) = [(capacidad de descarga en el ciclo N-ésimo) / (capacidad de descarga en el primer ciclo)] x 100 (en la que N es un número entero mayor de 1).

Se muestra la retención de la capacidad por ciclo en el ciclo 50º de cada batería en la siguiente tabla 1.

Evaluación de las características de salida de la batería secundaria

Se evaluó cada una de las baterías secundarias de litio según los ejemplos 1-6 y los ejemplos comparativos 1-5 en cuanto a resistencia.

Particularmente, se llevó a cabo la evaluación de la resistencia llevando a cabo la descarga a 1,5 C durante 30 segundos en un estado de carga (SOC) del 50 % en cada electrodo negativo para medir un cambio en la tensión, y calculando el valor de resistencia según la fórmula de “resistencia = tensión/corriente”.

Se muestran los valores de resistencia relativos de los ejemplos 2-6 y los ejemplos comparativos 1-5 en la tabla 1, ya que el valor de resistencia del ejemplo 1 se toma como del 100 %.

[Tabla 1]

	Retención de la capacidad de ciclo (%)	Características de salida (%)
Ejemplo 1	84	100
Ejemplo 2	81	97
Ejemplo 3	80	101
Ejemplo 4	82	99
Ejemplo 5	80	95
Ejemplo 6	80	100
Ej. comp. 1	56	97
Ej. comp. 2	74	92
Ej. comp. 3	69	90
Ej. comp. 4	66	89
Ej. comp. 5	65	92

Tal como puede observarse en la tabla 1, cada una de las baterías secundarias, que usa un material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio, que incluye partículas de silicio; y una capa de recubrimiento que rodea las partículas de silicio, en la que las partículas de silicio tienen una anchura total a media altura (FWHM)

de pico que oscila entre 2 y 10 en la distribución de diámetro de partícula que tiene un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm , y la capa de recubrimiento incluye al menos uno de carbono y un polímero, según los ejemplos 1-6, muestra excelentes características de vida útil representadas por la retención de capacidad por ciclo y excelentes características de salida.

5

Por el contrario, puede observarse que cada una de las baterías secundarias que usan un material activo de electrodo negativo que tiene una anchura total a media altura de pico menor de 2 o mayor de 10 en la distribución de diámetro de partícula, según los ejemplos comparativos 1-5, muestra una retención de capacidad por ciclo significativamente baja y características de vida útil deficientes, y no puede realizar características de salida suficientes.

10

REIVINDICACIONES

1. Material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio, que comprende:
5 partículas de silicio; y
una capa de recubrimiento que rodea las partículas de silicio,
10 en la que las partículas de silicio tienen una anchura total a media altura (FWHM) de pico que oscila entre 2 y 10 pulgadas
teniendo la distribución de diámetro de partícula un diámetro de partícula promedio (D_{50}) de 1-30 μm según se determina mediante análisis de distribución de partículas por difracción láser, y
15 la capa de recubrimiento comprende al menos uno de carbono y un polímero.
2. Material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según la reivindicación 1, en el que las partículas de silicio tienen una anchura total a media altura de 4-8.
- 20 3. Material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según la reivindicación 1, en el que la capa de recubrimiento está presente en una cantidad de 3-10 partes en peso basado en 100 partes en peso de las partículas de silicio.
- 25 4. Material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según la reivindicación 1, en el que el polímero es poliacrilato, poliacrilonitrilo o una mezcla de los mismos.
5. Material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según la reivindicación 1, en el que el carbono en la capa de recubrimiento deriva de brea, acetileno, metano, carbono amorfo, grafito natural, grafito artificial, carbono activado, microperlas de mesocarbono, fibras de carbono, o una mezcla de dos o más de ellos.
30
6. Material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según la reivindicación 1, que comprende además grafito, carbono blando, carbono duro, o una mezcla de dos o más de ellos.
- 35 7. Electrodo negativo que comprende un colector de corriente, y una capa de material activo de electrodo negativo dispuesta al menos sobre una superficie del colector de corriente, en el que la capa de material activo de electrodo negativo comprende el material activo de electrodo negativo para una batería secundaria de litio según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.
- 40 8. Batería secundaria de litio que comprende el electrodo negativo según la reivindicación 7.

FIG. 1

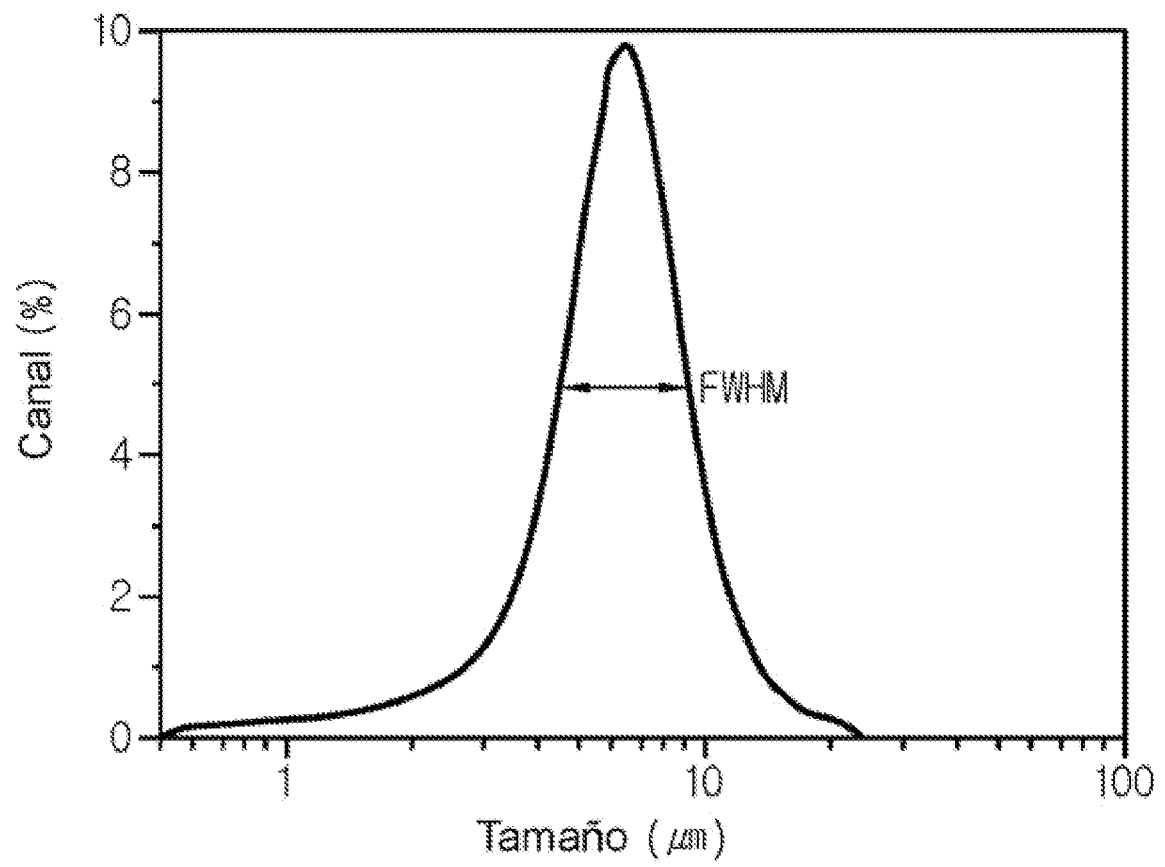


FIG. 2

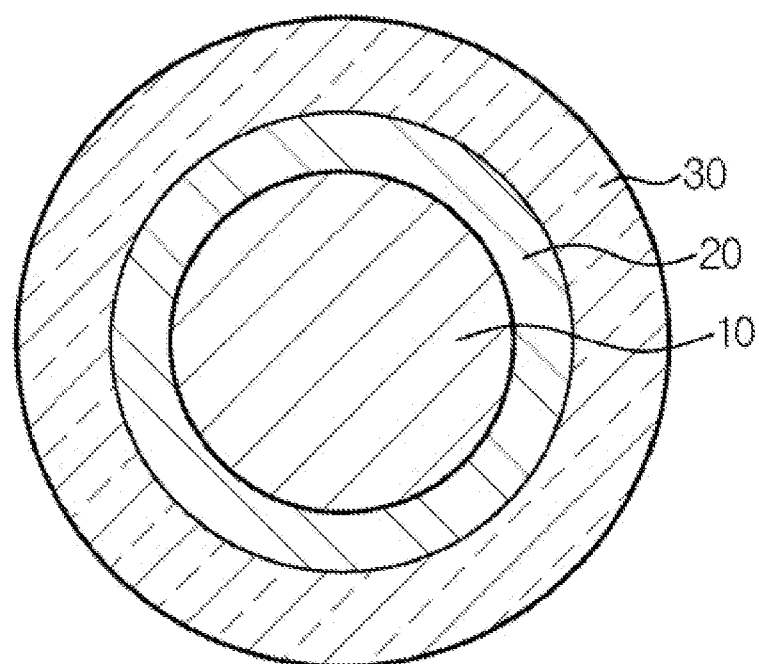


FIG. 3

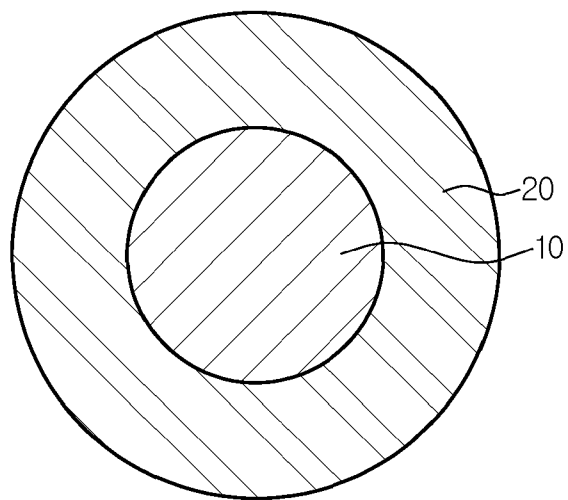


FIG. 4

