

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 844 024**

51 Int. Cl.:

F26B 5/04 (2006.01)

H01M 10/058 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.09.2017 PCT/CN2017/101105**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.03.2018 WO18054234**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2017 E 17852302 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2020 EP 3488485**

54 Título: **Método de secado de conjuntos de electrodos**

30 Prioridad:

22.09.2016 US 201615272504

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.07.2021

73 Titular/es:

**GRST INTERNATIONAL LIMITED (100.0%)
Unit 212, 2/F, Photonics Centre, No. 2 Science
Park East Avenue, Hong Kong Science Park,
Shatin
Hong Kong, CN**

72 Inventor/es:

**HO, KAM PIU;
WANG, RANSHI y
SHEN, PEIHUA**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 844 024 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

Método de secado de conjuntos de electrodos

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de las baterías. En particular, esta invención se refiere a métodos de secado de conjuntos de electrodos de baterías de ion litio y conjuntos de electrodos hechos por los métodos divulgados en el presente documento.

10 Antecedentes de la invención

Las baterías de ion litio (BIL) han despertado un interés considerable en los dos últimos decenios para un amplio abanico de aplicaciones en dispositivos electrónicos portátiles, tales como teléfonos celulares y ordenadores portátiles. Debido al rápido desarrollo del mercado de vehículos eléctricos (VE) y al almacenamiento de energía de la red, las BIL de alto rendimiento y bajo coste, ofrecen actualmente una de las opciones más prometedoras para dispositivos de almacenamiento de energía a gran escala.

En la actualidad, los electrodos se preparan dispersando polvos finos de un material activo del electrodo de batería, un agente conductor, y un material aglutinante en un disolvente apropiado. La dispersión puede ser revestida en un colector de corriente, tal como una lámina metálica de cobre o aluminio, y luego secada a una temperatura elevada para eliminar el disolvente. Las hojas del cátodo y del ánodo se apilan o enrollan posteriormente con el separador que separa el cátodo y el ánodo para formar una batería.

El proceso de fabricación de una batería de ion litio es sensible a la humedad. Una batería con un alto contenido de agua conduce a una importante atenuación del rendimiento electroquímico y afecta a la estabilidad de la batería. Por lo tanto, la humedad ambiental ha de ser controlada estrictamente para el proceso de producción de BILs. La mayoría de las BIL se producen en un ambiente con menos del 1 por ciento de humedad. Sin embargo, se incurre en un costo significativo debido al riguroso proceso exento de humedad. Para abordar la delicada cuestión de la humedad del conjunto de electrodos, es importante secar el conjunto de electrodos antes del fresado de electrolitos para reducir el contenido de agua en la batería.

La patente china N.º 104142045 B describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BILs. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 30-100 °C; llenar el horno con aire seco o gas inerte; repetir estas dos etapas 1-10 veces. Este método proporciona al conjunto de electrodos un contenido de agua entre 430,5 ppm y 488,1 ppm.

La solicitud de patente china N.º 105115250 A describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BILs. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 85±5 °C; llenar el horno con gas nitrógeno caliente y seco; repetir estas dos etapas 10-20 veces. Este método proporciona al conjunto de electrodos un contenido de agua inferior a 200 ppm.

La patente china N.º 102735023 B describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BILs. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 20-70 °C; llenar el horno con aire seco o gas nitrógeno; repetir estas dos etapas 5-50 veces. Este método proporciona al conjunto de electrodos un contenido de agua entre 110,1 ppm y 137,2 ppm.

La patente china N.º 103344097 B describe un método de secado de un conjunto de electrodos de BILs. El método comprende calentar un conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 75-85 °C; llenar el horno con un gas no oxidante; calentar el conjunto de electrodos a 75-85 °C; secar al vacío el conjunto de electrodos de nuevo. Sin embargo, este método no proporciona el contenido de agua del conjunto de electrodos seco para evaluar el proceso de secado.

Otros métodos de secado de un conjunto de electrodos se divulgan en los documentos CN105865159 A y US2007009803 A1.

Ninguna de las referencias de patentes anteriores divulga ninguna composición aglutinante en los electrodos para evaluar la relación entre el perfil de secado y la composición aglutinante. Asimismo, los contenidos de agua de los conjuntos de electrodos, conforme se secan con los métodos existentes, oscilan entre cien ppm y varios cientos de ppm, lo cual pueden afectar a la estabilidad del ciclo y a la intensidad de corriente de las BILs.

En vista de lo anterior, siempre existe la necesidad de desarrollar un método de secado de conjuntos de electrodos de BILs con un bajo contenido de agua. También siempre existe la necesidad de conjuntos de electrodos que tengan un bajo contenido de agua y un buen rendimiento electroquímico.

Sumario de la invención

Las necesidades mencionadas anteriormente se cumplen por un método de acuerdo con la reivindicación 1. Las realizaciones opcionales de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

5 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 representa una realización del método divulgado en el presente documento.

10 La Figura 2 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada por el método descrito en el Ejemplo 2.

La Figura 3 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada por el método descrito en el Ejemplo 4.

15 La Figura 4 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada por el método descrito en el Ejemplo 6.

20 La Figura 5 representa el rendimiento de ciclo de una celda electroquímica que contiene un conjunto de electrodos preparada por el método descrito en el Ejemplo 8.

Descripción detallada de la invención

En el presente documento se proporciona un método de secado de un conjunto de electrodos, que comprende las etapas de:

- 25 1) apilar al menos un ánodo, al menos un cátodo, y al menos un separador interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo para preparar un conjunto de electrodos;
- 2) colocar el conjunto de electrodos en una cámara de secado;
- 30 3) secar el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 90 °C durante un período de tiempo de 5 minutos a 4 horas;
- 4) secar además el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura superior a 90 °C;
- 5) llenar la cámara de secado con aire seco o gas inerte; y
- 6) repetir las etapas 4) y 5) para obtener un conjunto de electrodos seco.

35 El término "electrodo" se refiere a un "cátodo" o a un "ánodo".

El término "electrodo positivo" se usa indistintamente con cátodo. Del mismo modo, el término "electrodo negativo" se usa indistintamente con ánodo.

40 El término "material aglutinante" se refiere a una sustancia química o una sustancia que puede usarse para mantener el material activo del electrodo de batería y el agente conductor en su lugar.

El término "material aglutinante a base de agua" se refiere a un polímero aglutinante soluble en agua o dispersable en agua. Algunos ejemplos no limitantes del material aglutinante a base de agua incluyen caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de acrílico, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido de polietileno, polivinilpirrolidona, poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliacrilonitrilo, poliestireno, copolímeros de etileno/propileno/dieno, polivinilpiridina, polietileno clorosulfonado, látex, resinas de poliéster, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, poli(alcohol vinílico), carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa y combinaciones de los mismos.

El término "material aglutinante de base orgánica" se refiere a un aglutinante disuelto o dispersado en un disolvente orgánico, en particular, N-metil-2-pirrolidona (NMP). Algunos ejemplos no limitantes del material aglutinante de base orgánica incluyen politetrafluoroetileno (PTFE), polímero de perfluoroalcoxi (PFA), fluoruro de polivinilideno (PVDF), copolímero de tetrafluoroetileno (TFE) y hexafluoropropileno (HFP), copolímero de etileno-propileno fluorado (FEP), y terpolímero de tetrafluoroetileno, hexafluoropropileno y fluoruro de vinilideno, y combinaciones de los mismos.

El término "colector de corriente" se refiere a un soporte para revestir el material activo del electrodo de batería y un conductor de alto electrón químicamente inactivo para mantener una corriente eléctrica que fluye hacia los electrodos durante la carga o descarga de una batería secundaria.

El término "agente conductor" se refiere a un material que es químicamente inactivo y tiene buena conductividad eléctrica. Por lo tanto, el agente conductor a menudo se mezcla con un material activo de electrodo en el momento de formar un electrodo para mejorar la conductividad eléctrica del electrodo. En algunas realizaciones, el agente conductor es un material carbonoso.

El término "conjunto de electrodos" se refiere a una estructura que comprende al menos un electrodo positivo, al menos un electrodo negativo, y al menos un separador interpuesto entre el electrodo positivo y el electrodo negativo.

El término "resistencia al desprendimiento" se refiere a la fuerza necesaria para separar una capa de revestimiento de un sustrato al que se ha laminado.

El término "rugosidad de la superficie" se refiere a las irregularidades de forma presentes en la superficie de un material.

El término "temperatura ambiente" se refiere a temperaturas interiores de aproximadamente 18 °C a aproximadamente 30 °C, p. ej., 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 o 30 °C. En algunas realizaciones, temperatura ambiente se refiere a una temperatura de aproximadamente 20 °C +/- 1 °C o +/- 2 °C o +/- 3 °C. En otras realizaciones, temperatura ambiente se refiere a una temperatura de aproximadamente 22 °C o aproximadamente 25 °C.

El término "tasa C" se refiere a la tasa de carga o descarga de una celda o batería, expresado en términos de su capacidad de almacenamiento total en Ah o mAh. Por ejemplo, una tasa de 1 C significa la utilización de toda la energía almacenada en una hora; 0,1 C significa la utilización del 10 % de la energía en una hora o la energía completa en 10 horas; y 5 C significa la utilización de energía completa en 12 minutos.

El término "amperios-hora (Ah)" se refiere a una unidad utilizada para especificar la capacidad de almacenamiento de una batería. Por ejemplo, una batería con capacidad de 1 Ah puede suministrar una corriente de un amperio durante una hora o 0,5 A durante dos horas, etc. Por lo tanto, 1 amperio-hora (Ah) es el equivalente a 3.600 culombios de carga eléctrica. De manera similar, el término "miliamperio-hora (mAh)" también se refiere a una unidad de la capacidad de almacenamiento de una batería y es 1/1.000 de un amperio-hora.

El término "ciclo de vida de la batería" se refiere al número de ciclos completos de carga/descarga que una batería puede realizar antes de que su capacidad nominal caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal inicial.

En la siguiente descripción, todos los números divulgados en el presente documento son valores aproximados, independientemente de si la palabra "alrededor de" o "aproximado" se utiliza en relación con los mismos. Pueden variar en un 1 por ciento, 2 por ciento, 5 por ciento o, a veces, de 10 a 20 por ciento. Siempre que un intervalo numérico con un límite inferior, R^L , y un límite superior, R^U , se divulgue, se divulga específicamente cualquier número que se encuentre dentro del intervalo. En particular, se divulgan específicamente los siguientes números dentro del intervalo: $R = R^L + k \cdot (R^U - R^L)$, en donde k es una variable que varía del 1 por ciento al 100 por ciento con un incremento del 1 por ciento, es decir, k es 1 por ciento, 2 por ciento, 3 por ciento, 4 por ciento, 5 por ciento, ..., 50 por ciento, 51 por ciento, 52 por ciento, ..., 95 por ciento, 96 por ciento, 97 por ciento, 98 por ciento, 99 por ciento, o 100 por ciento. Por otra parte, cualquier intervalo numérico definido por dos números R como se define en lo anterior también se divulga específicamente.

La Figura 1 muestra una realización del método divulgado en el presente documento. Un conjunto de electrodos se realiza al apilar una pluralidad de ánodos y una pluralidad de cátodos con separadores interpuestos entre ellos. El conjunto de electrodos es progresivamente secado al vacío en dos fases sucesivas, en las que la temperatura de la primera fase es más baja que la de la fase posterior. La cámara de secado se llena entonces con aire caliente y seco. Las etapas de secado al vacío y restauración de la presión se repiten hasta que se alcanza el contenido de agua deseado.

En general, los procesos de fabricación de baterías de ion litio se llevan a cabo en recintos secos donde el entorno ha de ser cuidadosamente controlado para preservar las condiciones óptimas de producción. El punto de rocío del aire es un indicador de la calidad del recinto seco. Los valores típicos del punto de rocío para la producción de baterías oscilan entre -40 °C y -65 °C. La eficacia y la vida útil de una batería se determinan en la fase de producción de una celda. No obstante, ningún documento de la técnica anterior describe un método para lograr un conjunto de electrodos que tenga un contenido de agua particularmente bajo (p. ej., inferior a 20 ppm).

Un conjunto de electrodos puede construirse apilando secuencialmente al menos un electrodo negativo, al menos un separador, y al menos un electrodo positivo. El número y la disposición del al menos un electrodo positivo, el al menos un electrodo negativo, y el al menos un separador, para configurar el conjunto de electrodos no están particularmente limitados. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura apilada en la que los dos electrodos más externos comprenden una polaridad opuesta (es decir, un electrodo positivo y un electrodo negativo), tal como una estructura de electrodo positivo/separador/estructura de electrodo negativo o una estructura de electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo.

En determinadas realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura apilada en la que los dos electrodos más externos comprenden la misma polaridad (es decir, electrodos positivos o electrodos negativos), tal como una estructura de electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador/electrodo positivo o una estructura de electrodo negativo/separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura en la que se dispone un separador en uno de los lados más externos, tal como una estructura de separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo o una estructura de electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador. En otras realizaciones, el conjunto de electrodos tiene una estructura en la que se disponen separadores en ambos lados más externos, tal como una estructura de separador/electrodo positivo/separador/electrodo negativo/separador.

En determinadas realizaciones, el conjunto de electrodos se monta bajo un estricto control de humedad en el que el aire tiene un punto de rocío de -65 °C. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se monta bajo condiciones secas en las que el aire tiene un punto de rocío de -50 °C, -40 °C, -30 °C, -20 °C, -10 °C, 0 °C, 5 °C o 10 °C. En determinadas realizaciones, el conjunto de electrodos se monta al aire libre sin control de la humedad.

El separador dispuesto entre las superficies opuestas del ánodo y el cátodo activo puede evitar el contacto entre el ánodo y el cátodo y un cortocircuito de la batería de ion litio. En algunas realizaciones, el separador puede estar compuesto por fibras poliméricas tejidas o no tejidas, fibras naturales, fibras de carbono, fibras de vidrio o fibras de cerámica. En determinadas realizaciones, el separador está compuesto por fibras poliméricas tejidas o no tejidas.

En determinadas realizaciones, las fibras del no tejido o tejido están hechas de polímeros orgánicos, tales como poliolefina, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultra alto, polipropileno, copolímero de polipropileno/polietileno, polibutileno, polipenteno, poliacetal, poliamida, policarbonato, poliimida, poliéter éter cetona, polisulfonas, óxido de polifenileno, poli(sulfuro de fenileno), poliacrilonitrilo, fluoruro de polivinilideno, polioximetileno, polivinilpirrolidona, poliéster, tereftalato de polietileno, politereftalato de butileno, naftaleno de polietileno, naftalato de polibutileno, derivados de los mismos, o una combinación de los mismos. En determinadas realizaciones, el separador está hecho de fibras poliolefínicas seleccionadas entre el grupo que consiste en polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultra alto, polipropileno, copolímero de polipropileno/polietileno, y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el separador está hecho de fibras poliméricas seleccionadas entre el grupo que consiste en poliéster, poliacetal, poliamida, policarbonato, poliimida, poliéter éter cetona, polietersulfona, óxido de polifenileno, poli(sulfuro de fenileno), naftaleno de polietileno, y combinaciones de los mismos. En otras realizaciones, la fibra polimérica no es polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultra alto, polipropileno, o copolímero de polipropileno/polietileno. En realizaciones adicionales, la fibra polimérica no es poliacetal, polietersulfona, óxido de polifenileno, sulfuro de polifenileno, o policarbonato. En otras realizaciones adicionales, la fibra polimérica no es poliamida, poliimida, o poliéter éter cetona. Pero todas las demás fibras poliméricas conocidas o muchas fibras naturales también pueden ser usadas.

En algunas realizaciones, el separador divulgado en el presente documento tiene un punto de fusión de 100 °C o más, 120 °C o más, 140 °C o más, 160 °C o más, 180 °C o más, 200 °C o más, o 250 °C o más. En algunas realizaciones, el separador divulgado en el presente documento tiene un punto de fusión de 140 °C o más, 160 °C o más, 180 °C o más, 200 °C o más, o 250 °C o más. El separador que tiene un alto punto de fusión muestra una alta estabilidad térmica y, por lo tanto, puede ser secado a alta temperatura sin contraerse térmicamente. Esto también permite que el secado sea realizado de forma más eficaz. Por lo tanto, el conjunto de electrodos puede secarse en un tiempo relativamente corto, lo que da como resultado un tiempo de producción corto.

El separador puede estar en forma revestida o no revestida. En algunas realizaciones, el separador tiene un espesor de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 200 µm, de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 100 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 75 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 50 µm, de aproximadamente 10 µm a aproximadamente 20 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 40 µm, de aproximadamente 15 µm a aproximadamente 35 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 40 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 35 µm, de aproximadamente 20 µm a aproximadamente 30 µm, de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 60 µm, de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 50 µm, o de aproximadamente 30 µm a aproximadamente 40 µm.

En determinadas realizaciones, el separador tiene un espesor de aproximadamente 15 µm, aproximadamente 20 µm, o aproximadamente 25 µm. En algunas realizaciones, el separador de la presente invención tiene un espesor inferior a 40 µm, inferior a 35 µm, inferior a 30 µm, inferior a 25 µm, o inferior a 20 µm. Si el separador es lo suficientemente fino, la humedad puede evaporarse a altas velocidades de secado.

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos está escasamente apilado. En el conjunto de electrodos escasamente apilado, hay un espacio vacío entre la capa de electrodo y la capa de separador, permitiendo que la humedad se escape. Por lo tanto, el conjunto de electrodos escasamente apilado puede secarse de manera eficaz en un corto período de tiempo. Por otro lado, cuando el conjunto de electrodos se comprimió bajo presión antes de secarse, el conjunto de electrodos muy agrupado tiene un espacio vacío escaso o nulo entre la capa de electrodo y la capa de separador, reduciendo por tanto el flujo de aire y la eficacia de secado.

En determinadas realizaciones, el electrodo positivo, el separador y el electrodo negativo se apilan y se enrollan en

espiral en una configuración tipo remolino antes de secarse. Puesto que el conjunto de electrodos tipo rollo está muy agrupado, hay también un espacio vacío pequeño o nulo entre la capa de electrodo y la capa de separador, reduciendo por tanto el flujo de aire y la eficacia de secado.

- 5 Un electrodo positivo incluye una capa de electrodo de cátodo soportada en un colector de corriente catódica. La capa de electrodo de cátodo comprende al menos un material catódico y un material aglutinante. La capa de electrodo de cátodo puede comprender además un agente conductor para mejorar la conductividad de los electrones de la capa de electrodo de cátodo. Un electrodo negativo incluye una capa de electrodo de ánodo soportada en un colector de corriente anódica. La capa de electrodo de ánodo comprende al menos un material anódico y un material
- 10 aglutinante. La capa de electrodo de ánodo puede comprender además un agente conductor para mejorar la conductividad de los electrones de la capa de electrodo de ánodo.

En algunas realizaciones, el al menos un cátodo comprende un colector de corriente catódica y una capa de electrodo de cátodo que comprende un material catódico, un material aglutinante y un agente conductor, y el al menos un ánodo comprende un colector de corriente anódica y una capa de electrodo de ánodo que comprende un material anódico, un material aglutinante y un agente conductor, en donde cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo tiene independientemente un volumen vacío inferior al 40 %, inferior al 37 %, inferior al 35 %, inferior al 33 %, inferior al 30 %, inferior al 25 %, inferior al 20 %, inferior al 18 %, inferior al 15 %, inferior al 13 %, inferior al 10 %, o inferior al 8 %, en función del volumen total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En determinadas

15 realizaciones, el volumen vacío de cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo está independientemente entre 8 % y 40 %, entre 8 % y 35 %, entre 8 % y 30 %, entre 10 % y 30 %, entre 13 % y 30 %, entre 13 % y 33 %, entre 15 % y 30 %, entre 18 % y 30 %, entre 20 % y 30 %, o entre 25 % y 30 %, en función del volumen total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

- 25 Si el volumen vacío de la capa de electrodo es del 35 % o más, tanto la densidad de energía como la potencia de salida de la batería son bajas. Cuando el volumen vacío de la capa de electrodo está entre 10 % y 35 %, la batería muestra una buena difusividad de los iones litio y un alto rendimiento.

El colector de corriente actúa para recoger los electrones generados por las reacciones electroquímicas del material activo del electrodo de batería o para suministrar los electrones necesarios para las reacciones electroquímicas. En algunas realizaciones, cada uno de los colectores de corriente de los electrodos positivos y negativos, que puede tener la forma de una lámina, hoja o película, es independientemente de acero inoxidable, titanio, níquel, aluminio, cobre o resina conductora de electricidad. En determinadas realizaciones, el colector de corriente catódica es una película fina de aluminio. En algunas realizaciones, el colector de corriente anódica es una película fina de cobre.

En algunas realizaciones, el colector de corriente tiene un espesor de aproximadamente 6 μm a aproximadamente 100 μm . El espesor del colector de corriente afectará al volumen ocupado por el colector de corriente dentro de una batería y la cantidad de material del electrodo y, por ende, a la capacidad en la batería.

- 40 Una rugosidad superficial formada en una superficie del colector de corriente puede aumentar la fuerza de unión del material del electrodo con el colector de corriente, al mejorar la adhesión entre el colector de corriente y la capa de electrodo. En determinadas realizaciones, el colector de corriente tiene una rugosidad superficial R_a de aproximadamente 0,1 μm a aproximadamente 5 μm , de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 3 μm , de aproximadamente 0,1 μm a aproximadamente 1 μm , o de aproximadamente 0,1 μm a aproximadamente 0,5 μm . En algunas realizaciones, el colector de corriente tiene una rugosidad superficial de 4 μm o menos, 3 μm o menos, 2 μm o menos, 1,5 μm o menos, 0,8 μm o menos, o 0,5 μm o menos.

En algunas realizaciones, el espesor de cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo en el colector de corriente está independientemente de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 300 μm , de aproximadamente 10 μm a aproximadamente 300 μm , de aproximadamente 20 μm a aproximadamente 100 μm , de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 100 μm , de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 50 μm , de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 40 μm , de aproximadamente 10 μm a aproximadamente 40 μm , de aproximadamente 10 μm a aproximadamente 30 μm , o de aproximadamente 10 μm a aproximadamente 25 μm . En algunas realizaciones, el espesor de la capa de electrodo en el colector de corriente es de aproximadamente 10 μm ,

50 aproximadamente 15 μm , aproximadamente 20 μm , aproximadamente 25 μm , aproximadamente 30 μm , aproximadamente 35 μm , o aproximadamente 40 μm .

En determinadas realizaciones, la densidad de cada una de las capas de los electrodos de cátodo y ánodo en el colector de corriente está independientemente de aproximadamente 1,0 g/cm^3 a aproximadamente 6,5 g/cm^3 , de aproximadamente 1,0 g/cm^3 a aproximadamente 5,0 g/cm^3 , de aproximadamente 1,0 g/cm^3 a aproximadamente 4,0 g/cm^3 , de aproximadamente 1,0 g/cm^3 a aproximadamente 3,5 g/cm^3 , de aproximadamente 1,0 g/cm^3 a aproximadamente 3,0 g/cm^3 , de aproximadamente 1,0 g/cm^3 a aproximadamente 2,0 g/cm^3 , de aproximadamente 2,0 g/cm^3 a aproximadamente 5,0 g/cm^3 , de aproximadamente 2,0 g/cm^3 a aproximadamente 4,0 g/cm^3 , de aproximadamente 3,0 g/cm^3 a aproximadamente 5,0 g/cm^3 , o de aproximadamente 3,0 g/cm^3 a aproximadamente 6,0 g/cm^3 . De manera similar, un aumento en la densidad de la capa de electrodo dará como resultado una reducción del volumen vacío en el revestimiento del electrodo final y un electrodo más denso, logrando de esa

60

65

manera la capacidad deseada de la batería.

En algunas realizaciones, el material catódico se selecciona entre el grupo que consiste en LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$, $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$, $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$, LiV_2O_5 , LiTiS_2 , LiMoS_2 , LiMnO_2 , LiCrO_2 , LiMn_2O_4 , LiFeO_2 , LiFePO_4 , y combinaciones de los mismos, en donde cada x es independientemente de 0,3 a 0,8; cada y es independientemente de 0,1 a 0,45; y cada z es independientemente de 0 a 0,2. En determinadas realizaciones, el material catódico se selecciona entre el grupo que consiste en LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$, $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$, $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$, LiV_2O_5 , LiTiS_2 , LiMoS_2 , LiMnO_2 , LiCrO_2 , LiMn_2O_4 , LiFeO_2 , LiFePO_4 , y combinaciones de los mismos, en donde cada x es independientemente de 0,4 a 0,6; cada y es independientemente de 0,2 a 0,4; y cada z es independientemente de 0 a 0,1. En otras realizaciones, el material catódico no es LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiV_2O_5 , LiTiS_2 , LiMoS_2 , LiMnO_2 , LiCrO_2 , LiMn_2O_4 , LiFeO_2 , o LiFePO_4 . En realizaciones adicionales, el material catódico no es $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{O}_2$, $\text{Li}_{1+z}\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$, o $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$, en donde cada x es independientemente de 0,3 a 0,8; cada y es independientemente de 0,1 a 0,45; y cada z es independientemente de 0 a 0,2.

En determinadas realizaciones, el material anódico se selecciona entre el grupo que consiste en material particulado de grafito natural, material particulado de grafito sintético, material particulado de Sn (estaño), material particulado de $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, material particulado de Si (silicio), material particulado compuesto de Si-C, y combinaciones de los mismos. En otras realizaciones, el material anódico no es un material particulado de grafito natural, material particulado de grafito sintético, material particulado de Sn (estaño), material particulado de $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, material particulado de Si (silicio), o material particulado de SiC.

En algunas realizaciones, la cantidad de cada uno de los materiales catódicos y anódicos es independientemente al menos un 50 %, al menos un 55 %, al menos un 60 %, al menos un 65 %, al menos un 70 %, al menos un 75 %, al menos un 80 %, al menos un 85 %, al menos un 90 % o al menos un 95 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En determinadas realizaciones, la cantidad de cada uno de los materiales catódicos y anódicos es independientemente como máximo 50 %, como máximo 55 %, como máximo 60 %, como máximo 65 %, como máximo 70 %, como máximo 75 %, como máximo 80 %, como máximo 85 %, como máximo 90 %, o como máximo 95 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En determinadas realizaciones, el agente conductor se selecciona entre el grupo que consiste en carbono, negro de carbono, grafito, grafito expandible, grafeno, nanoplaquitas de grafeno, fibras de carbono, nanofibras de carbono, escamas de carbono grafitizado, tubos de carbono, nanotubos de carbono, carbono activado, carbono mesoporoso, y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el agente conductor no es carbono, negro de carbono, grafito, grafito expandible, grafeno, nanoplaquitas de grafeno, fibras de carbono, nanofibras de carbono, escamas de carbono grafitizado, tubos de carbono, nanotubos de carbono, carbono activado, o carbono mesoporoso.

En algunas realizaciones, la cantidad del agente conductor en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente al menos un 1 %, al menos un 2 %, al menos un 3 %, al menos un 4 %, al menos un 5 %, al menos un 10 %, al menos un 15 %, al menos un 20 %, al menos un 25 %, al menos un 30 %, al menos un 35 %, al menos un 40 %, al menos un 45 % o al menos un 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En determinadas realizaciones, la cantidad del agente conductor en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente como máximo 1 %, como máximo 2 %, como máximo 3 %, como máximo 4 %, como máximo 5 %, como máximo 10 %, como máximo 15 %, como máximo 20 %, como máximo 25 %, como máximo 30 %, como máximo 35 %, como máximo 40 %, como máximo 45 %, o como máximo 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En determinadas realizaciones, la cantidad del agente conductor en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente de aproximadamente 0,05 % en peso a aproximadamente 0,5 % en peso, de aproximadamente 0,1 % en peso a aproximadamente 1 % en peso, de aproximadamente 0,25 % en peso a aproximadamente 2,5 % en peso, de aproximadamente 0,5 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 5 % en peso, de aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 7 % en peso, o de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

Después de montar el conjunto de electrodos, el conjunto de electrodos se coloca en una cámara de secado. En algunas realizaciones, la cámara de secado está conectada a una bomba de vacío, para que la presión en la cámara pueda ser reducida. La presión se reduce lo suficiente como para disminuir el punto de ebullición del agua. Por lo tanto, el tiempo de secado puede reducirse considerablemente. En determinadas realizaciones, la cámara de secado está conectada a un suministro de vacío central, permitiendo de esa manera que varios hornos de secado al vacío funcionen simultáneamente. En algunas realizaciones, el número de hornos de secado al vacío conectados a un suministro de vacío central varía de 1 a 20, dependiendo del número de bombas que funcionen. En determinadas realizaciones, una bomba de vacío o un suministro de vacío central se conecta a la cámara de secado por una línea de succión equipada con una válvula de salida de gas. En algunas realizaciones, la cámara de secado también está conectada a un depósito de gas que contiene aire seco o gas inerte por un tubo equipado con una válvula de admisión de gas. Cuando la válvula de salida de gas está cerrada y la válvula de admisión de gas está abierta, el vacío se pierde en la cámara de secado. La válvula puede ser de tipo solenoide o de aguja o un controlador de flujo

másico. Se puede utilizar cualquier dispositivo que permita un ajuste apropiado del flujo.

Para reducir la potencia necesaria para las bombas, se puede proporcionar un condensador entre la cámara de secado y la bomba. El condensador condensa el vapor de agua, que luego se separa.

La presente invención comprende el secado del conjunto de electrodos con al menos dos fases de secado, concretamente, la primera fase (es decir, la etapa 3) y la segunda fase (es decir, la etapa 4). El conjunto de electrodos descritos en el presente documento es progresivamente secado en al menos dos fases sucesivas, en las que la temperatura de la primera fase es más baja que la temperatura en cualquiera de las fases posteriores.

La temperatura en la primera fase puede estar dentro del intervalo de 50 °C a 90 °C. Un conjunto de electrodos parcialmente seco se obtiene a partir de la primera fase. En determinadas realizaciones, el conjunto de electrodos puede secarse al vacío en la primera fase a una temperatura de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 85 °C, de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 85 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 80 °C, o de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos puede secarse al vacío en la primera fase a una temperatura de aproximadamente 50 °C o más, aproximadamente 60 °C o más, aproximadamente 70 °C o más, o aproximadamente 80 °C o más. En determinadas realizaciones, el conjunto de electrodos puede secarse al vacío en la primera fase a una temperatura inferior a 90 °C, inferior a 85 °C, inferior a 80 °C, inferior a 75 °C, inferior a 70 °C, inferior a 65 °C, inferior a 60 °C, inferior a 55 °C, o inferior a 50 °C.

Una temperatura más baja en la primera fase es beneficiosa para retardar el secado para evitar una grieta o una fragilización de la capa de electrodo. La superficie de la capa de electrodo debe secarse lentamente para reducir la posibilidad de que se agriete la superficie, ya que el interior de la capa de electrodo se seca más lentamente que la superficie de la capa de electrodo.

El tiempo de secado para la primera fase puede encontrarse en el intervalo de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 4 horas. En algunas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío en la primera fase es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 3 horas, o de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 2 horas. En algunas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío en la primera fase es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos.

De acuerdo con la invención, la temperatura en la segunda fase se encuentra en el intervalo de 90 °C a 155 °C.

El tiempo de secado de la segunda fase puede encontrarse en el intervalo de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 4 horas. En algunas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío en la segunda fase es de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 4 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 3 horas, de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 4 horas, o de aproximadamente 2 horas a aproximadamente 3 horas. En algunas realizaciones, el período de tiempo para secar el conjunto de electrodos al vacío en la segunda fase es de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos.

Cualquier bomba de vacío que pueda reducir la presión de la cámara de secado puede ser usada en el presente documento. Algunos ejemplos no limitantes de las bombas de vacío incluyen bombas de vacío secas, bombas turbo, bombas de vacío de paletas rotativas, bombas criogénicas, y bombas de sorción.

En algunas realizaciones, la bomba de vacío es una bomba exenta de aceite. La bomba exenta de aceite funciona sin necesidad de aceite en las partes de la bomba que están expuestas a los gases que se están bombeando, o al vacío parcial. Por tanto, cualquier gas que fluya contracorriente por la bomba está exento de vapor de aceite. El vapor de aceite progresivo depositado en las superficies del conjunto de electrodos puede reducir el rendimiento electroquímico de una batería. Un ejemplo de este tipo de bomba es una bomba de vacío de diafragma.

En determinadas realizaciones, se puede lograr un alto vacío usando un sistema de bombeo de dos fases para evacuar la cámara de secado. El sistema de bombeo comprende una bomba de vacío primaria, tal como una bomba rotativa o una bomba de diafragma dispuesta en serie con una bomba de alto vacío, tal como una bomba turbomolecular.

5

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se seca a presión atmosférica. En determinadas realizaciones, el secado se realiza en un estado de vacío. En realizaciones adicionales, el estado de vacío se mantiene a una presión dentro del intervalo de aproximadamente 1×10^{-1} Pa a aproximadamente 1×10^{-4} Pa, de aproximadamente 10 Pa a aproximadamente 1×10^{-1} Pa, de aproximadamente 1×10^3 Pa a aproximadamente 10 Pa, o de aproximadamente $2,5 \times 10^4$ Pa a aproximadamente 1×10^3 Pa. En otras realizaciones adicionales, el estado de vacío está a una presión de aproximadamente 1×10^3 Pa, aproximadamente 2×10^3 Pa, aproximadamente 5×10^3 Pa, aproximadamente 1×10^4 Pa, o aproximadamente 2×10^4 Pa.

10

Después de un período de tiempo de secado predeterminado, la cámara de secado se ventila directamente a un depósito de gas que contiene aire seco o gas inerte a través de una válvula de admisión de gas. En algunas realizaciones, el depósito de gas es un cilindro de gas nitrógeno. En determinadas realizaciones, el gas inerte se selecciona entre el grupo que consiste en helio, argón, neón, criptón, xenón, nitrógeno, dióxido de carbono, y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el contenido de agua del aire seco o del gas inerte se mantiene inferior o igual a 10 ppm, inferior o igual a 8 ppm, inferior o igual a 5 ppm, inferior o igual a 4 ppm, inferior o igual a 3 ppm, inferior o igual a 2 ppm, o inferior o igual a 1 ppm.

15

20

En determinadas realizaciones, la etapa de llenado de gas se realiza después de la segunda fase de secado llenando la cámara de secado con aire seco o gas inerte. En otras realizaciones, la etapa de llenado de gas se realiza después de las primera y segunda fases de secado llenando la cámara de secado con aire seco o gas inerte.

25

En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte se precalienta antes de entrar en la cámara de secado. En determinadas realizaciones, la temperatura del aire seco o gas inerte es de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 130 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 110 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 80 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 120 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 100 °C, de aproximadamente 90 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 90 °C a aproximadamente 130 °C, de aproximadamente 90 °C a aproximadamente 100 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 130 °C, o de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 120 °C. En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte se precalienta a una temperatura de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 155 °C antes de entrar en la cámara de secado.

30

35

En determinadas realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante un período de tiempo de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 10 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 20 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 20 minutos, o de aproximadamente 30 minutos a aproximadamente 1 hora. En algunas realizaciones, el aire seco o el gas inerte permanece en la cámara de secado durante un período de tiempo de aproximadamente 30 segundos a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 2 horas, o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos.

40

45

En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos puede ser secado además al vacío después de incubar el conjunto de electrodos con el gas seco durante un tiempo predeterminado. Este procedimiento puede repetirse tantas veces como sea necesario para reducir el contenido de humedad del conjunto de electrodos a un nivel apropiado. En determinadas realizaciones, este procedimiento puede repetirse entre 2 y 50 veces hasta que el contenido de humedad en el conjunto de electrodos sea inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 10 ppm, o inferior a 5 ppm, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

50

55

En determinadas realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse al menos 2 veces, al menos 3 veces, al menos 4 veces, al menos 5 veces, al menos 6 veces, al menos 7 veces, al menos 8 veces, al menos 9 veces, al menos 10 veces, al menos 12 veces, al menos 14 veces, al menos 16 veces, al menos 18 veces, al menos 20 veces, al menos 22 veces, al menos 24 veces, al menos 26 veces, al menos 28 veces, o al menos 30 veces. En algunas realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse entre 2 y 50 veces, entre 2 y 30 veces, entre 2 y 20 veces, entre 2 y 10 veces, entre 5 y 30 veces, entre 5 y 20 veces, o entre 5 y 10 veces. En determinadas realizaciones, las etapas de secado al vacío y llenado de gas pueden repetirse entre 2 o más veces.

60

65

En algunas realizaciones, el proceso de secado del conjunto de electrodos comprende secado al vacío, seguido de

- secado al aire caliente. En algunas realizaciones, la cámara de secado sopla aire caliente hacia el conjunto de electrodos desde arriba y/o abajo. En determinadas realizaciones, el secado al aire caliente se realiza a una velocidad del aire de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 50 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 40 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 30 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 20 metros/segundo, de aproximadamente 1 metro/segundo a aproximadamente 10 metros/segundo, de aproximadamente 10 metro/segundo a aproximadamente 50 metros/segundo, de aproximadamente 10 metro/segundo a aproximadamente 40 metros/segundo, de aproximadamente 10 metro/segundo a aproximadamente 30 metros/segundo, de aproximadamente 10 metro/segundo a aproximadamente 20 metros/segundo, de aproximadamente 20 metro/segundo a aproximadamente 30 metros/segundo, de aproximadamente 30 metros/segundo a aproximadamente 40 metros/segundo, o de aproximadamente 40 metros/segundo a aproximadamente 50 metros/segundo. En otras realizaciones, un gas inerte calentado (es decir, helio, argón) es usado en lugar de aire caliente.
- El gas de secado puede ser precalentado a través de superficies de intercambio térmico. En algunas realizaciones, la temperatura del aire caliente oscila en el intervalo de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 155 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 130 °C, de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 150 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 130 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 110 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 140 °C, o de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 120 °C.
- En determinadas realizaciones, el período de tiempo para el secado al aire caliente es de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 2 horas, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 1 minuto a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 20 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos, de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 10 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 1 hora, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 30 minutos, de aproximadamente 10 minutos a aproximadamente 20 minutos, de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 1 hora, o de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 30 minutos.
- En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos puede ser secado además al vacío después de soplar aire caliente durante un tiempo predeterminado. Este procedimiento puede repetirse tantas veces como sea necesario para reducir el contenido de humedad del conjunto de electrodos a un nivel apropiado, tal como 40 ppm, 30 ppm, 20 ppm, 15 ppm, 10 ppm, o 5 ppm.
- En la actualidad, el agua es el factor clave que debe ser estrictamente controlado en el proceso de producción de baterías de ion litio de base orgánica. Las ventajas de la presente invención es que la mayor parte de la fabricación puede tener lugar fuera de un recinto seco. En algunas realizaciones, el proceso de ensamblaje puede tener lugar fuera de un recinto seco o de una caja de guantes. En determinadas realizaciones, solo la etapa para llenar el electrolito o ambas etapas para secar el conjunto de electrodos y fresar el electrolito se realizan en un recinto seco o en una caja de guantes. Por tanto, se puede evitar el control de la humedad en la fábrica, reduciendo significativamente el coste de inversión.
- La presencia de humedad es perjudicial para el funcionamiento de una batería. En general, el contenido de agua en el conjunto de electrodos preparado por métodos convencionales contiene una cantidad de agua superior a 100 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos. Incluso si el rendimiento inicial de la batería es aceptable, la tasa de deterioro del rendimiento de la batería puede ser inaceptable. Para poder lograr un rendimiento suficientemente alto de la batería, sería ventajoso por lo tanto tener un bajo contenido de agua en la batería.
- El conjunto de electrodos preparado por el método divulgado en el presente documento tiene un contenido de agua particularmente bajo, contribuyendo al rendimiento fiable de las baterías de ion litio. En algunas realizaciones, el contenido de agua en el conjunto de electrodos seco es de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 50 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 40 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 30 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 20 ppm, de aproximadamente 5 ppm a aproximadamente 10 ppm, de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 30 ppm, de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 20 ppm, o de aproximadamente 3 ppm a aproximadamente 10 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.
- En determinadas realizaciones, el contenido de agua en el conjunto de electrodos seco es inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 5 ppm, inferior a 4 ppm, inferior a 3 ppm, inferior a 2 ppm, o inferior a 1 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco divulgado en el presente documento tiene una concentración de agua en ello no mayor que aproximadamente 5 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos seco.

- En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco, en donde el al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco tienen un contenido de agua inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 5 ppm, o inferior a 3 ppm en peso, en función del peso total del al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco.
- En determinadas realizaciones, el al menos un ánodo y al menos un cátodo tienen un contenido de agua inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 5 ppm, o inferior a 3 ppm en peso, en función del peso total del al menos un ánodo y al menos un cátodo. En algunas realizaciones, el al menos un cátodo o ánodo tiene un contenido de agua inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 15 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 5 ppm, inferior a 4 ppm, inferior a 3 ppm, inferior a 2 ppm, o inferior a 1 ppm en peso, en función del peso total del al menos un cátodo o ánodo.
- En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos seco comprende al menos un separador seco, en donde el al menos un separador seco tiene un contenido de agua inferior a 50 ppm, inferior a 40 ppm, inferior a 30 ppm, inferior a 20 ppm, inferior a 10 ppm, inferior a 5 ppm, o inferior a 3 ppm en peso, en función del peso total del al menos un separador seco.
- La resistencia al desprendimiento de la capa de revestimiento de los electrodos se ha aumentado convencionalmente al aumentar la cantidad de aglutinante en la capa de revestimiento. Sin embargo, el aumento de la cantidad de aglutinante conduce naturalmente a la disminución de la cantidad de material activo del electrodo en la capa de revestimiento del electrodo, disminuyendo de esa manera la capacidad de la batería por peso unitario. Realizando un proceso de secado de dos fases, se obtiene una resistencia al desprendimiento prácticamente suficiente.
- La presente invención comprende secar el conjunto de electrodos con dos fases de secado, la primera fase y la segunda fase, en la que la temperatura de la primera fase es más baja que la de la segunda fase. Una temperatura más baja en la primera fase impide la rápida pérdida de humedad en la superficie y aumenta la calidad del producto al eliminar prácticamente la falta de uniformidad en el secado. Si el secado es demasiado rápido o la temperatura es demasiado alta, esto puede causar un secado desigual y puede hacer que la capa de electrodo se contraiga de forma desigual, causando de esa manera una reducción en la resistencia al desprendimiento del electrodo.
- Ningún documento de la técnica anterior divulga un método de secado que describe la relación entre una composición aglutinante y una resistencia al desprendimiento del electrodo. El proceso de secado de dos fases es particularmente adecuado para electrodos que comprenden aglutinantes acuosos. Los aglutinantes solo constituyen una pequeña parte de la composición del electrodo, pero en algunos casos, desempeñan un papel importante en el rendimiento de las baterías, tal como la estabilidad de los ciclos y la intensidad de corriente de las baterías de ion litio. Los aglutinantes acuosos son más ecológicos y más fáciles de usar para la fabricación de electrodos. Sin embargo, el aglutinante a base de agua, tal como la carboximetilcelulosa (CMC) se considera un aglutinante quebradizo, que se rompe después de una pequeña deformación. Si el secado es demasiado rápido o la temperatura es demasiado alta, es probable el aglutinante acuoso se vuelva quebradizo, dando como resultado un electrodo quebradizo.
- En algunas realizaciones, el al menos un cátodo comprende un colector de corriente catódica y una capa de electrodo de cátodo, en donde la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente catódica y la capa de electrodo de cátodo es de 0,05 N/cm o más, 0,1 N/cm o más, 0,15 N/cm o más, 0,2 N/cm o más, 0,25 N/cm o más, 0,3 N/cm o más, 0,35 N/cm o más, 0,4 N/cm o más, 0,5 N/cm o más, o 0,75 N/cm o más. En determinadas realizaciones, la resistencia al desprendimiento entre la capa de electrodo de cátodo y el colector de corriente catódica es de entre 0,05 N/cm y 0,75 N/cm, entre 0,05 N/cm y 0,6 N/cm, entre 0,05 N/cm y 0,5 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,5 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,45 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,4 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,35 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,5 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,45 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,4 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,35 N/cm, o entre 0,15 N/cm y 0,3 N/cm.
- En determinadas realizaciones, el al menos un ánodo comprende un colector de corriente anódica y una capa de electrodo de ánodo, en donde la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente anódica y la capa de electrodo de ánodo es de 0,05 N/cm o más, 0,1 N/cm o más, 0,15 N/cm o más, 0,2 N/cm o más, 0,3 N/cm o más, 0,35 N/cm o más, 0,45 N/cm o más, 0,5 N/cm o más, 0,55 N/cm o más, o 0,65 N/cm o más. En algunas realizaciones, la resistencia al desprendimiento entre la capa de electrodo de ánodo y el colector de corriente anódica es de entre 0,05 N/cm y 0,65 N/cm, entre 0,05 N/cm y 0,45 N/cm, entre 0,05 N/cm y 0,4 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,55 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,45 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,4 N/cm, entre 0,1 N/cm y 0,35 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,5 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,45 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,4 N/cm, entre 0,15 N/cm y 0,35 N/cm, o entre 0,15 N/cm y 0,3 N/cm.
- Es menos probable que se produzca una separación del material activo durante la carga y descarga repetidas cuando la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente y la capa de electrodo es alta. En el caso de que la resistencia al desprendimiento del electrodo sea de 0,15 N/cm o más, el electrodo tiene suficiente resistencia

al desprendimiento después de laminar el material activo del electrodo sobre una superficie del colector de corriente y la capa de electrodo no se separa durante el cambio de volumen debido a la contracción y expansión del material activo del electrodo durante la carga y descarga de una batería de litio recargable.

Después de la etapa de secado, el conjunto de electrodos puede entonces enfriarse naturalmente a 50 °C o menos antes de ser retirado de la cámara de secado. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se enfría a 45 °C o menos, 40 °C o menos, 35 °C o menos, 30 °C o menos, o 25 °C o menos antes de ser retirado de la cámara de secado. En determinadas realizaciones, el conjunto de electrodos se enfría a temperatura ambiente. En algunas realizaciones, el conjunto de electrodos se enfría soplando un gas seco o gas inerte con el fin de alcanzar la temperatura diana más rápidamente.

El material aglutinante en la capa de electrodo cumple la función de unir el material del electrodo y el agente conductor entre sí en el colector de corriente. En determinadas realizaciones, cada uno del al menos un ánodo y al menos un cátodo comprende independientemente un material aglutinante seleccionado entre el grupo que consiste en un material aglutinante de base orgánica, un material aglutinante a base de agua, o una mezcla de materiales aglutinantes a base de agua y de base orgánica.

En algunas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de los electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, copolímero de acrilonitrilo, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de nitrilo y butadieno, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, caucho de acrílico, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido de polietileno, polietileno clorosulfonado, polivinilpirrolidona, polivinilpiridina, poli(alcohol vinílico), poli(acetato de vinilo), poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poli(acrilonitrilo), poliestireno, látex, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, acetato de celulosa, butirato acetato de celulosa, propionato acetato de celulosa, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, poliéster, poliamida, poliéter, poliimida, policarboxilato, ácido policarboxílico, ácido poliacrílico, poli(acrilato), ácido polimetacrílico, polimetacrilato, poli(acrilamida), poliuretano, polímero fluorado, polímero clorado, una sal de ácido algínico, fluoruro de polivinilideno, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, y combinaciones de los mismos. En realizaciones adicionales, la sal de ácido algínico comprende un catión seleccionado entre Na, Li, K, Ca, NH₄, Mg, Al, o una combinación de los mismos.

En determinadas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de los electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, carboximetilcelulosa, fluoruro de polivinilideno, copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico, poli(acrilonitrilo), poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, látex, una sal de ácido algínico, y combinaciones de los mismos.

En algunas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre SBR, CMC, PAA, una sal de ácido algínico, o una combinación de los mismos. En determinadas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente un copolímero de acrilonitrilo. En algunas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente un poli(acrilonitrilo). En determinadas realizaciones, cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo está exento independientemente de caucho de estireno-butadieno, carboximetilcelulosa, fluoruro de polivinilideno, copolímero de acrilonitrilo, ácido poliacrílico, poli(acrilonitrilo), poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, látex, o una sal de ácido algínico.

En determinadas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente al menos un 1 %, al menos un 2 %, al menos un 3 %, al menos un 4 %, al menos un 5 %, al menos un 10 %, al menos un 15 %, al menos un 20 %, al menos un 25 %, al menos un 30 %, al menos un 35 %, al menos un 40 %, al menos un 45 % o al menos un 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo. En algunas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente como máximo 1 %, como máximo 2 %, como máximo 3 %, como máximo 4 %, como máximo 5 %, como máximo 10 %, como máximo 15 %, como máximo 20 %, como máximo 25 %, como máximo 30 %, como máximo 35 %, como máximo 40 %, como máximo 45 %, o como máximo 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

En algunas realizaciones, la cantidad del material aglutinante en cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo es independientemente de aproximadamente 2 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 3 % en peso a aproximadamente 6 % en peso, de aproximadamente 5 % en peso a aproximadamente 10 % en peso, de aproximadamente 7,5 % en peso a aproximadamente 15 % en peso, de aproximadamente 10 % en peso a aproximadamente 20 % en peso, de aproximadamente 15 % en peso a aproximadamente 25 % en peso, de aproximadamente 20 % en peso a aproximadamente 40 % en peso, o de aproximadamente 35 % en peso a aproximadamente 50 % en peso, en función del peso total de la capa de electrodo de cátodo o ánodo.

Con el fin de evitar que haya humedad en el interior del recipiente sellado, la etapa de llenar el electrolito se lleva a

cabo en un recinto seco. Después del secado, el conjunto de electrodos se coloca en el interior de un recipiente y luego se añade un electrolito para llenar los poros de todas las capas del separador y de electrodos, y cada uno de los huecos entre los electrodos positivos y negativos y el separador en el conjunto de electrodos bajo una atmósfera inerte antes de su sellado.

5 El método divulgado en el presente documento reduce los costes de producción de las baterías de ion litio al consumir menos energía y acorta los tiempos de fabricación necesarios para el secado. Por lo tanto, este método es especialmente adecuado para procesos industriales debido a su bajo coste y facilidad de manipulación.

10 También se proporciona en el presente documento un conjunto de electrodos para una batería secundaria de electrolito no acuoso, que comprende al menos un ánodo, al menos un cátodo y al menos un separador interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo, en donde al menos un ánodo comprende un colector de corriente anódica y una capa de electrodo de ánodo, y al menos un cátodo comprende un colector de corriente catódica y una capa de electrodo de cátodo, en donde cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo tiene
15 independientemente un volumen de vacío inferior al 35 %, y en donde cada uno del al menos un cátodo y ánodo tiene independientemente una resistencia al desprendimiento de 0,15 N/cm o más. En otras realizaciones, cada una de las capas de electrodos de cátodo y ánodo tiene independientemente un volumen de vacío inferior al 33 %, inferior al 30 %, inferior al 25 %, inferior al 20 %, inferior al 18 %, o inferior al 15 %.

20 En determinadas realizaciones, la capa de electrodo de cátodo comprende un material catódico, un material aglutinante y un agente conductor, y la capa de electrodo de ánodo comprende un material anódico, un material aglutinante y un agente conductor, en donde cada uno de los materiales aglutinantes en las capas de electrodos de cátodo y ánodo se selecciona independientemente entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, copolímero de acrilonitrilo, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de nitrilo
25 y butadieno, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, caucho de acrílico, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno, óxido de polietileno, polietileno clorosulfonado, polivinilpirrolidona, polivinilpiridina, poli(alcohol vinílico), poli(acetato de vinilo), poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliacrilonitrilo, poliestireno, látex, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, acetato de celulosa, butirato acetato de celulosa, propionato acetato de celulosa, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, poliéster, poliamida, poliéter, poliimida, policarboxilato, ácido policarboxílico, ácido poliacrílico, poliacrilato, ácido polimetacrílico, polimetacrilato, poliacrilamida, poliuretano, polímero fluorado, polímero clorado, una sal de ácido algínico, fluoruro de polivinilideno, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, y combinaciones de los mismos.

35 En algunas realizaciones, la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente y la capa de electrodo es de 0,15 N/cm o más, 0,2 N/cm o más, 0,3 N/cm o más, 0,4 N/cm o más, o 0,5 N/cm o más. En realizaciones adicionales, la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente catódica y la capa de electrodo de cátodo es de 0,3 N/cm o más, 0,4 N/cm o más, o 0,5 N/cm o más. En otras realizaciones adicionales, la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente anódica y la capa de electrodo de ánodo es de 0,15 N/cm o más, 0,2
40 N/cm o más, o 0,3 N/cm o más.

En determinadas realizaciones, el contenido de agua del conjunto de electrodos es inferior a 20 ppm, inferior a 10 ppm, o inferior a 5 ppm en peso, en función del peso total del conjunto de electrodos.

45 También se proporciona en el presente documento una batería de litio que comprende el conjunto de electrodos preparado por el método divulgado en el presente documento.

Los siguientes ejemplos se presentan para ejemplificar las realizaciones de la invención. Todos los valores numéricos son aproximados. Cuando se dan intervalos numéricos, debe entenderse que las realizaciones que están
50 fuera de los intervalos establecidos todavía pueden estar dentro del alcance de la invención. Los detalles específicos descritos en cada ejemplo no deben interpretarse como características necesarias de la invención.

Ejemplos

55 El contenido de agua en el conjunto de electrodos fue medido por la valoración de Karl-Fisher. El conjunto de electrodos fue cortado en pequeñas piezas de 1 cm x 1 cm en una caja de guantes llena de gas argón. El conjunto de electrodos cortado que tenía un tamaño de 1 cm x 1 cm se pesó en un vial de muestra. El conjunto de electrodos pesado fue entonces añadido en un recipiente de valoración para la valoración de Karl Fischer usando un analizador de humedad por coulombimetría de Karl Fischer (831 KF Coulometer, Metrohm, Suiza). Las mediciones se repitieron
60 tres veces para encontrar el valor promedio.

El contenido de agua en los electrodos o el separador fue medido por la valoración de Karl-Fisher. El conjunto de electrodos fue cortado en pequeñas piezas de 1 cm x 1 cm en una caja de guantes llena de gas argón. El conjunto de electrodos se separó en las capas del ánodo, cátodo y separador. Los contenidos de agua de las capas de
65 electrodos separadas y las capas del separador se analizaron por separado por medio de la valoración de Karl Fischer. Las mediciones se repitieron tres veces para encontrar el valor promedio.

Las resistencias al desprendimiento de los electrodos se midieron con un equipo de ensayo de desprendimiento (obtenido en Instron, EE. UU.; modelo n.º MTS 5581). El conjunto de electrodos seco se separó en las capas del ánodo, cátodo y separador. Cada una de las capas catódicas y anódicas fue cortada en una forma rectangular que tenía un tamaño de 25 mm x100 mm. A continuación, una tira de cinta de reparación (3M; EE.UU.; modelo n.º 810) se fijó en la superficie del electrodo que tiene la capa de revestimiento de electrodos, y luego se comprimió con un movimiento recíproco de un rodillo de 2 kg sobre ella para preparar las muestras para la prueba de resistencia al desprendimiento. Cada una de las muestras se montó en el equipo de ensayo de desprendimiento, seguido de la medición de la resistencia al desprendimiento de la cinta de reparación a 180° a temperatura ambiente. La cinta de reparación se despegó a una velocidad de 50 mm/minuto. Las mediciones se tomaron a un intervalo predeterminado de 10 mm a 70 mm y se repitieron 3 veces.

Ejemplo 1

A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 94 % en peso de material catódico (LNMC TLM 310, obtenido en Xinxiang Tianli Energy Co. Ltd., China), 3 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor, y 0,8 % en peso de ácido poliacrílico (PAA, n.º 181285, obtenido en Sigma-Aldrich, EE. UU.), 1,5 % en peso de caucho de estireno y butadieno (SBR, AL-2001, obtenido en NIPPON A&L INC., Japón) y 0,7 % en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF; Solef® 5130, obtenido en Solvay S.A., Bélgica) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

B) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada fue revestida por ambos lados de una lámina de aluminio que tiene un espesor de 20 µm y una rugosidad superficial Ra de 5,5 µm usando un revestimiento de transferencia (ZY-TSF6-6518, obtenido en Jin Fan Zhanyu New Energy Technology Co. Ltd., China) con una densidad de área de aproximadamente 26 mg/cm². Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 3 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 8 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno programado con temperatura permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente desde la temperatura de entrada de 60 °C hasta la temperatura de salida de 75 °C. Luego, se comprimió el electrodo para aumentar la densidad del recubrimiento y la densidad fue de 2,74 g/cm³. El volumen de vacío de la capa de electrodo es de 31 %.

C) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro (HC; pureza del 99,5 %, Ruifute Technology Ltd., Shenzhen, Guangdong, China), 5 % en peso de negro de carbono y 5 % en peso de poliácridonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se recubrió en ambos lados de una lámina de cobre que tenía un espesor de 9 µm y una rugosidad de superficie Ra de 3,4 µm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm². Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo. Luego se comprimió el electrodo para aumentar la densidad del recubrimiento y la densidad era de 1,8 g/cm³. El volumen de vacío de la capa de electrodo es de 19 %.

Ejemplo 2

Ensamblaje del conjunto de electrodos

Después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del Ejemplo 1 se usaron para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (obtenida en MITSUBISHI PAPER MILLS LTD, Japón) hecha de tela no tejida de PET, que tenía un espesor de 30 µm. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de 5x10³ Pa a 70 °C durante 2,5 horas durante la primera fase de secado. El conjunto de electrodos se secó además a un vacío a 5x10³ Pa a 120 °C durante 1,5 horas durante la segunda fase de secado. La cámara de secado se llena entonces con aire seco caliente que tiene un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 90 °C. El aire seco caliente se mantuvo en la cámara de secado durante 15 minutos antes de evacuar la cámara de secado. El ciclo que incluye las etapas de secado al vacío en la segunda fase y el llenado de gas realizado después de la segunda fase se repitió 10 veces.

Contenidos de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separador

Los valores promedios de los contenidos de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separador eran de 5 ppm, 9 ppm y 13 ppm, respectivamente.

Resistencias al desprendimiento de los electrodos

Los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo procesados en el conjunto de electrodos seco fueron de 0,45 N/cm y 0,23 N/cm, respectivamente, y los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo no procesados fueron de 0,44 N/cm y 0,21 N/cm, respectivamente. Tanto el cátodo como el ánodo mostraron altas resistencias al desprendimiento que no se vieron afectadas en gran medida por los procesos de secado.

Ensamblaje de la batería de tipo bolsa

Se montó una celda tipo bolsa apilando el conjunto de electrodos seco en una cajita hecha de una película laminada de aluminio y plástico. Las placas de electrodo de cátodo y ánodo se mantuvieron separadas por separadores y la cubierta se preformó. Luego se introdujo un electrolito en la cajita que contenía los electrodos empaquetados en una atmósfera de argón de alta pureza con un contenido de humedad y oxígeno < 1 ppm. El electrolito era una solución de LiPF_6 (1 M) en una mezcla de carbonato de etileno (CE), etil metil carbonato (EMC) y dimetil carbonato (DMC) en una relación en volumen de 1:1:1. Después del llenado de los electrolitos, las celdas tipo bolsa se sellaron al vacío y luego se comprimieron mecánicamente usando un punzón con forma cuadrada convencional.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 2I) Capacidad nominal

La célula se ensayó galvanostáticamente a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías (BTS-5V20A, obtenido en Neware Electronics Co. Ltd., China) entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal era de aproximadamente 2,8 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la célula de tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 2. La retención de la capacidad después de 562 ciclos fue de aproximadamente el 94,7 % del valor inicial. Las pruebas electroquímicas muestran una buena estabilidad electroquímica de la batería en un amplio intervalo de potenciales, así como un excelente rendimiento del ciclo.

Ejemplo 3A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 92 % en peso de material catódico (LiMn_2O_4 , obtenido en HuaGuan HengYuan LiTech Co. Ltd., Qingdao, China), 4 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor, y 4 % en peso de fluoruro de polivinilideno (PVDF; Solef® 5130, obtenido en Solvay S.A., Bélgica) como aglutinante, que se dispersaron en N-metil-2-pirrolidona (NMP; pureza de ≥ 99 %, Sigma-Aldrich, USA) para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

B) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de un papel de aluminio que tenía un espesor de 20 μm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 2,4 mg/cm^2 . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 6 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno programado con temperatura permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente desde la temperatura de entrada de 65 °C hasta la temperatura de salida de 80 °C. Luego, se comprimió el electrodo para aumentar la densidad del recubrimiento y la densidad fue de 2,83 g/cm^3 . El volumen de vacío de la capa de electrodo es de 29 %.

C) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodo negativo mezclando 90 % en peso de carbono duro (HC; pureza de 99,5 %, obtenido en Ruifute Technology Ltd., Shenzhen, Guangdong, China) con 1,5 % en peso de carboximetilcelulosa

(CMC, BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y 3,5 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) como aglutinante, y 5 % en peso de negro de carbono como agente conductor, que se dispersaron en agua desionizada para formar otra suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se recubrió en ambos lados de una lámina de cobre que tenía un espesor de 9 µm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm². Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo. Luego se comprimió el electrodo para aumentar la densidad del recubrimiento y la densidad era de 1,8 g/cm³. El volumen de vacío de la capa de electrodo es de 19 %.

Ejemplo 4

Ensamblaje del conjunto de electrodos

Después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del Ejemplo 3 se usaron para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa con un recubrimiento cerámico (SEPARION, Evonik Industries, Alemania) hecho de tela no tejida que tenía un espesor de 35 µm. El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de 1×10^4 Pa a 85 °C durante 1,5 horas durante la primera fase de secado. El conjunto de electrodos se secó además a un vacío a 5×10^3 Pa a 105 °C durante 2,5 horas durante la segunda fase de secado. La cámara de secado se llena entonces con aire seco caliente que tiene un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 90 °C. El aire seco caliente se mantuvo en la cámara de secado durante 15 minutos antes de evacuar la cámara de secado. El ciclo que incluye las etapas de secado al vacío en la segunda fase y el llenado de gas realizado después de la segunda fase se repitió 5 veces.

Contenidos de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separador

Los valores promedios de los contenidos de humedad del conjunto de electrodos, electrodos y separador eran de 13 ppm, 9 ppm y 15 ppm, respectivamente.

Resistencias al desprendimiento de los electrodos

Los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo procesados en el conjunto de electrodos seco fueron de 0,31 N/cm y 0,18 N/cm, respectivamente, y los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo no procesados fueron de 0,32 N/cm y 0,17 N/cm, respectivamente. Tanto el cátodo como el ánodo mostraron altas resistencias al desprendimiento que no se vieron afectadas en gran medida por los procesos de secado.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 4

I) Capacidad nominal

Una celda de tipo bolsa que contiene el conjunto de electrodos seco preparado por el método descrito en el Ejemplo 4 se ensambló de acuerdo con el método descrito en el Ejemplo 2. La célula se ensayó galvanostáticamente a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 2,9 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la célula de tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 3. La retención de la capacidad después de 1050 ciclos fue de aproximadamente el 94,2 % del valor inicial. Las pruebas electroquímicas muestran la buena estabilidad electroquímica de la batería en un amplio intervalo de potenciales, así como un excelente rendimiento del ciclo.

Ejemplo 5

A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 94 % en peso de material catódico $\text{LiNi}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{O}_2$, obtenido en Shenzhen Tianjiao Technology Co. Ltd., China), 3 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor, y 1,5 % en peso de ácido poliacrílico (PAA, n.º 181285, obtenido en Sigma-Aldrich, EE.UU.) y 1,5 % en peso de poliácilonitrilo (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para

formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

B) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de un papel de aluminio que tenía un espesor de 20 μm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 32 mg/cm^2 . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron durante 4 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 6 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno programado con temperatura permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente desde la temperatura de entrada de 60 °C hasta la temperatura de salida de 75 °C. Luego, se comprimió el electrodo para aumentar la densidad del recubrimiento y la densidad fue de 3,47 g/cm^3 . El volumen de vacío de la capa de electrodo es de 13 %.

C) Preparación del electrodo negativo

Se preparó una suspensión de electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro, 5 % en peso de negro de carbono y 5 % en peso de poliacrilonitrilo en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se recubrió en ambos lados de una lámina de cobre que tenía un espesor de 9 μm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm^2 . Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

Ejemplo 6

Ensamblaje del conjunto de electrodos

Después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del Ejemplo 5 se usaron para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa (Jiangxi Advanced Nanofiber Technology Co., Ltd., China) hecha de poliimida que tenía un espesor de 20 μm . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de $1,5 \times 10^4$ Pa a 95 °C durante 3,5 horas durante la primera fase de secado. El conjunto de electrodos se secó además a un vacío a 5×10^3 Pa a 115 °C durante 2 horas durante la segunda fase de secado. La cámara de secado se llena entonces con aire seco caliente que tiene un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 85 °C. El aire seco caliente se mantuvo en la cámara de secado durante 15 minutos antes de evacuar la cámara de secado. El ciclo que incluye las etapas de secado al vacío en la segunda fase y el llenado de gas realizado después de la segunda fase se repitió 11 veces.

Contenido de humedad del conjunto de electrodos

Los valores promedios del contenido de humedad del conjunto de electrodos fue de 6 ppm.

Resistencias al desprendimiento de los electrodos

Los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo procesados en el conjunto de electrodos seco fueron de 0,51 N/cm y 0,28 N/cm, respectivamente, y los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo no procesados fueron de 0,49 N/cm y 0,25 N/cm, respectivamente. Tanto el cátodo como el ánodo mostraron altas resistencias al desprendimiento que no se vieron afectadas en gran medida por los procesos de secado.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 6

I) Capacidad nominal

Una celda de tipo bolsa que contiene el conjunto de electrodos seco preparado por el método descrito en el Ejemplo 6 se ensambló de acuerdo con el método descrito en el Ejemplo 2. La célula se ensayó galvanostáticamente a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 10 Ah.

II) Rendimiento de la ciclabilidad

El rendimiento de la ciclabilidad de la célula de tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la

Figura 4. La retención de la capacidad después de 601 ciclos fue de aproximadamente el 94,3 % del valor inicial. Las pruebas electroquímicas muestran la buena estabilidad electroquímica de la batería en un amplio intervalo de potenciales, así como un excelente rendimiento del ciclo.

5 Ejemplo 7

A) Preparación de la suspensión de electrodos positivos

Se preparó una suspensión de electrodos positivos mezclando 91 % en peso de material catódico LiFePO_4 (obtenido en Xiamen Tungsten Co. Ltd., China), 5 % en peso de negro de carbono (SuperP; obtenido en Timcal Ltd, Bodio, Suiza) como agente conductor, y 4 % en peso de poliacrilonitrilo (LA 132, Chengdu Indigo Power Sources Co., Ltd., China) como aglutinante, que se dispersaron en agua desionizada para formar una suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se homogeneizó con una mezcladora de agitación planetaria.

15 B) Preparación del electrodo positivo

La suspensión homogeneizada se recubrió sobre ambos lados de un papel de aluminio que tenía un espesor de 30 μm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 56 mg/cm^2 . Las películas recubiertas sobre el papel de aluminio se secaron luego durante 6 minutos mediante un horno de secado por aire caliente con transportador de 24 metros de largo, como un submódulo del recubridor de transferencia, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 4 metros/minuto para obtener un electrodo positivo. El horno programado con temperatura permitió un gradiente de temperatura controlable en el que la temperatura subió gradualmente desde la temperatura de entrada de 75 °C hasta la temperatura de salida de 90 °C. Luego, se comprimió el electrodo para aumentar la densidad del recubrimiento y la densidad fue de 2,98 g/cm^3 . El volumen de vacío de la capa de electrodo es de 26 %.

C) Preparación del electrodo negativo

Se prepararon electrodos negativos mezclando 90 % en peso de carbono duro (HC; pureza de 99,5 %, obtenido en Ruifute Technology Ltd., China) con un 1,5 % en peso de CMC (BSH-12, DKS Co. Ltd., Japón) y 3,5 % en peso de SBR (AL-2001, NIPPON A&L INC., Japón) como aglutinante, y 5 % en peso de negro de carbono como agente conductor, que se dispersaron en agua desionizada para formar otra suspensión con un contenido sólido del 50 % en peso. La suspensión se recubrió en ambos lados de una lámina de cobre que tenía un espesor de 9 μm usando un recubridor de transferencia con una densidad de área de aproximadamente 15 mg/cm^2 . Las películas recubiertas sobre la lámina de cobre se secaron luego a aproximadamente 50 °C durante 2,4 minutos mediante una secadora de aire caliente con transportador de 24 metros de largo, que funcionaba a una velocidad del transportador de aproximadamente 10 metros/minuto para obtener un electrodo negativo.

40 Ejemplo 8

Ensamblaje del conjunto de electrodos

Después del secado, la película de cátodo y la película de ánodo resultantes del Ejemplo 7 se usaron para preparar el cátodo y el ánodo, respectivamente, cortando en placas de electrodo individuales. Un conjunto de electrodos se preparó apilando los ánodos, los cátodos y los separadores interpuestos entre el electrodo positivo y el negativo al aire libre sin control de la humedad. El separador era una membrana microporosa con un recubrimiento cerámico (SEPARION, Evonik Industries, Alemania) hecho de tela no tejida, que tenía un espesor de aproximadamente 35 μm . El conjunto de electrodos se secó en un horno de vacío en el interior de una caja de guantes a una presión de 7×10^3 Pa a 65 °C durante 4 horas. El conjunto de electrodos se secó además a un vacío a 1×10^4 Pa a 115 °C durante 1,2 horas. La cámara de secado se llena entonces con aire seco caliente que tiene un contenido de agua de 5 ppm y una temperatura de 100 °C. El aire seco caliente se mantuvo en la cámara de secado durante 5 minutos antes de evacuar la cámara de secado. El ciclo que incluye las etapas de secado al vacío en la segunda fase y el llenado de gas realizado después de la segunda fase se repitió 8 veces.

55 Contenido de humedad del conjunto de electrodos

Los valores promedios del contenido de humedad del conjunto de electrodos fue de 7 ppm.

Resistencias al desprendimiento de los electrodos

Los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo procesados en el conjunto de electrodos seco fueron de 0,38 N/cm y 0,24 N/cm, respectivamente, y los valores promedios de las resistencias al desprendimiento del cátodo y el ánodo no procesados fueron de 0,37 N/cm y 0,22 N/cm, respectivamente. Tanto el cátodo como el ánodo mostraron altas resistencias al desprendimiento que no se vieron afectadas en gran medida por los procesos de secado.

Mediciones electroquímicas del Ejemplo 8

I) Capacidad nominal

- 5 Una celda de tipo bolsa que contiene el conjunto de electrodos seco preparado por el método descrito en el Ejemplo 8 se ensambló de acuerdo con el método descrito en el Ejemplo 2. La célula se ensayó galvanostáticamente a una densidad de corriente de C/2 a 25 °C en un equipo de ensayo de baterías entre 3,0 V y 4,2 V. La capacidad nominal fue de aproximadamente 9 Ah.

10 II) Rendimiento de la ciclabilidad

- El rendimiento de la ciclabilidad de la célula de tipo bolsa se ensayó cargando y descargando a una tasa de corriente constante de 1C entre 3,0 V y 4,2 V. El resultado de la prueba de rendimiento de la ciclabilidad se muestra en la Figura 5. La retención de la capacidad después de 452 ciclos fue de aproximadamente el 94,2 % del valor inicial. Las pruebas electroquímicas muestran la buena estabilidad electroquímica de la batería en un amplio intervalo de potenciales, así como un excelente rendimiento del ciclo.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un método de secado de un conjunto de electrodos, que comprende las etapas de:

- 5 1) apilar al menos un ánodo, al menos un cátodo, y al menos un separador interpuesto entre el al menos un ánodo y al menos un cátodo para preparar un conjunto de electrodos;
- 2) colocar el conjunto de electrodos en una cámara de secado;
- 3) secar el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 50 °C a 90 °C durante un período de tiempo de 5 minutos a 4 horas;
- 10 4) secar adicionalmente el conjunto de electrodos al vacío a una temperatura de 90 °C a 155 °C;
- 5) llenar la cámara de secado con aire seco o un gas inerte; y
- 6) repetir las etapas 4) y 5) para obtener un conjunto de electrodos seco.

15 2. El método de la reivindicación 1, en donde la presión en la cámara de secado en la etapa 3) se reduce a menos de 25 kPa, menos de 15 kPa, menos de 10 kPa o menos de 5 kPa.

3. El método de la reivindicación 1, en donde el conjunto de electrodos en la etapa 4) se seca adicionalmente durante un período de tiempo de 15 minutos a 4 horas o de 30 minutos a 2 horas.

20 4. El método de la reivindicación 1, en donde la presión en la cámara de secado en la etapa 4) es inferior a 25 kPa, inferior a 15 kPa, inferior a 10 kPa o inferior a 5 kPa.

5. El método de la reivindicación 1, en donde la temperatura del aire seco o del gas inerte es de 70 °C a 155 °C, o de 80 °C a 120 °C.

25 6. El método de la reivindicación 1, en donde el aire seco o el gas inerte permanecen en la cámara de secado durante un período de tiempo de 5 minutos a 2 horas o de 15 minutos a 30 minutos.

30 7. El método de la reivindicación 1, en donde el aire seco o el gas inerte restauran la cámara de secado a presión atmosférica.

8. El método de la reivindicación 1, en donde las etapas 4) y 5) se repiten entre 2 y 50 veces, entre 2 y 30 veces o entre 2 y 20 veces.

35 9. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un cátodo comprende un colector de corriente catódica y una capa de electrodo de cátodo, en donde la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente catódica y la capa de electrodo de cátodo es de 0,25 N/cm o más.

40 10. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un ánodo comprende un colector de corriente anódica y una capa de electrodo de ánodo, en donde la resistencia al desprendimiento entre el colector de corriente anódica y la capa de electrodo de ánodo es de 0,15 N/cm o más.

45 11. El método de la reivindicación 1, en donde el contenido de agua del conjunto de electrodos seco es inferior a 20 ppm en peso, basado en el peso total del conjunto de electrodos seco.

12. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un ánodo y al menos un cátodo en el conjunto de electrodos seco tienen un contenido de agua inferior a 20 ppm, o inferior a 10 ppm en peso, en función del peso total del al menos un ánodo seco y al menos un cátodo seco.

50 13. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un separador en el conjunto de electrodos seco tiene un contenido de agua inferior a 20 ppm o inferior a 10 ppm en peso, basado en el peso total del al menos un separador seco.

55 14. El método de la reivindicación 1, en donde el al menos un separador está hecho de fibras poliméricas seleccionadas entre el grupo que consiste en poliolefina, polietileno, polietileno de alta densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de baja densidad, polietileno de peso molecular ultra alto, polipropileno, copolímero de polipropileno/polietileno, polibutileno, polipenteno, poliacetato, poliamida, policarbonato, poliimida, poliéter éter cetona, polisulfonas, óxido de polifenileno, poli(sulfuro de fenileno), poli(acrilonitrilo), fluoruro de polivinilideno, polioximetileno, polivinilpirrolidona, poliéster, tereftalato de polietileno, politereftalato de butileno, naftaleno de polietileno, naftaleno de polibutileno, y combinaciones de los mismos.

60 15. El método de la reivindicación 1, en donde cada uno del al menos un ánodo y al menos un cátodo comprende independientemente un material aglutinante seleccionado entre el grupo que consiste en caucho de estireno-butadieno, caucho de estireno-butadieno acrilado, copolímero de acrilonitrilo, caucho de acrilonitrilo-butadieno, caucho de nitrilo y butadieno, copolímero de acrilonitrilo-estireno-butadieno, caucho de acrílo, caucho de butilo, caucho de flúor, politetrafluoroetileno, polietileno, polipropileno, copolímeros de etileno/propileno, polibutadieno,

- 5 óxido de polietileno, polietileno clorosulfonado, polivinilpirrolidona, polivinilpiridina, poli(alcohol vinílico), poli(acetato de vinilo), poliepiclorohidrina, polifosfaceno, poliacrilonitrilo, poliestireno, látex, resinas acrílicas, resinas fenólicas, resinas epoxídicas, carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, acetato de celulosa, butirato acetato de celulosa, propionato acetato de celulosa, cianoetilcelulosa, cianoetilsacarosa, poliéster, poliamida, poliéter, poliimida, policarboxilato, ácido policarboxílico, ácido poliacrílico, poliacrilato, ácido polimetacrílico, polimetacrilato, poliacrilamida, poliuretano, polímero fluorado, polímero clorado, una sal de ácido algínico, fluoruro de polivinilideno, poli(fluoruro de vinilideno)-hexafluoropropeno, y combinaciones de los mismos.

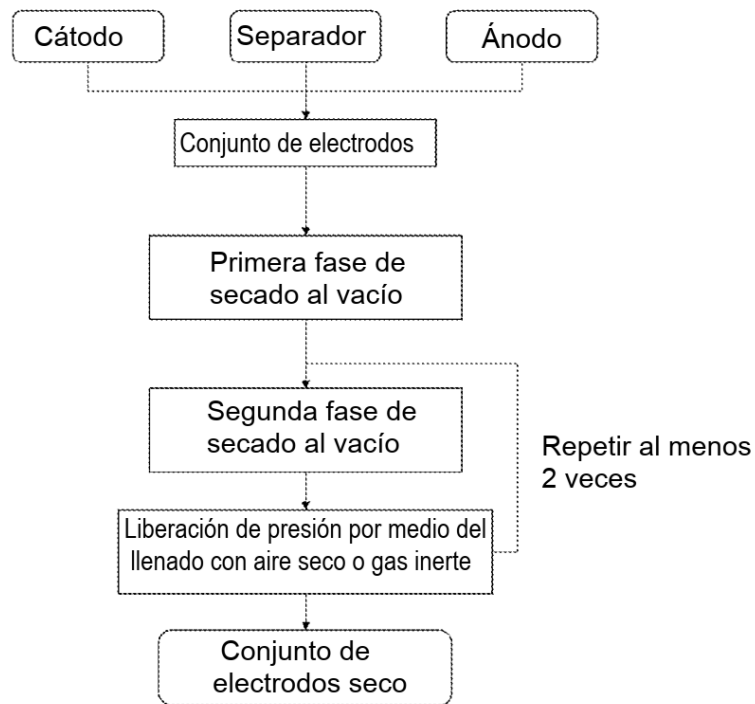


Figura 1

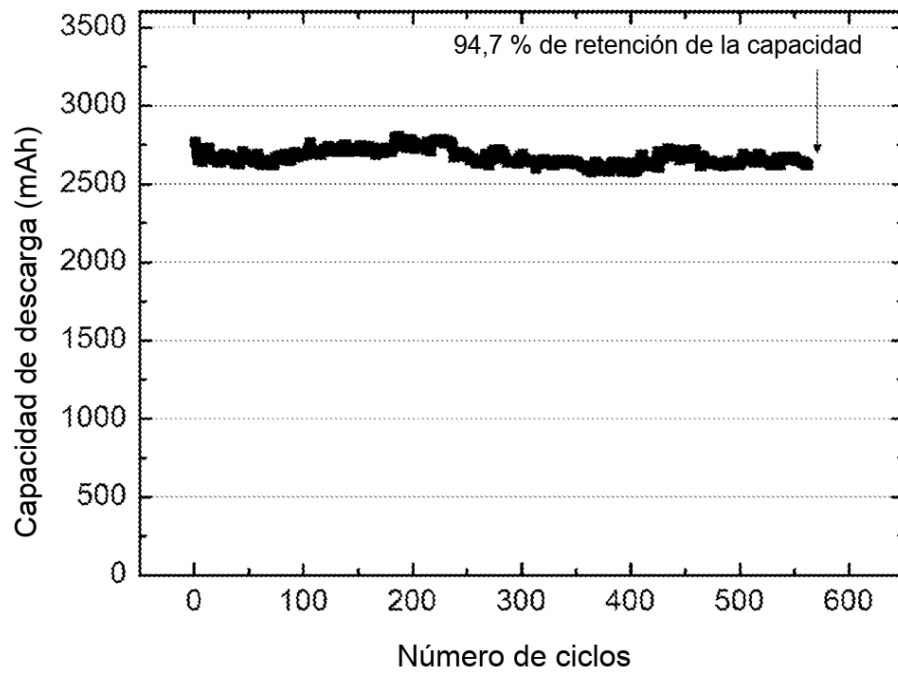


Figura 2

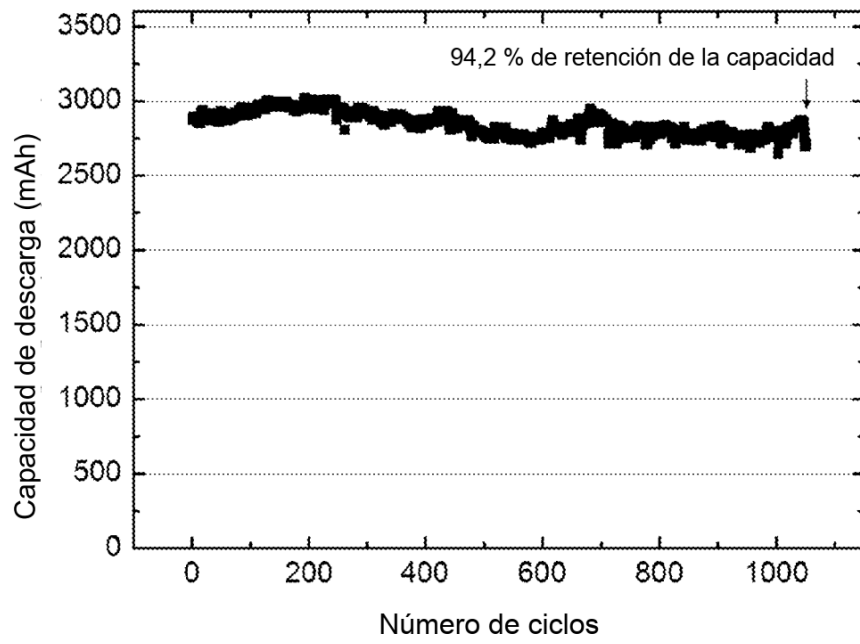


Figura 3

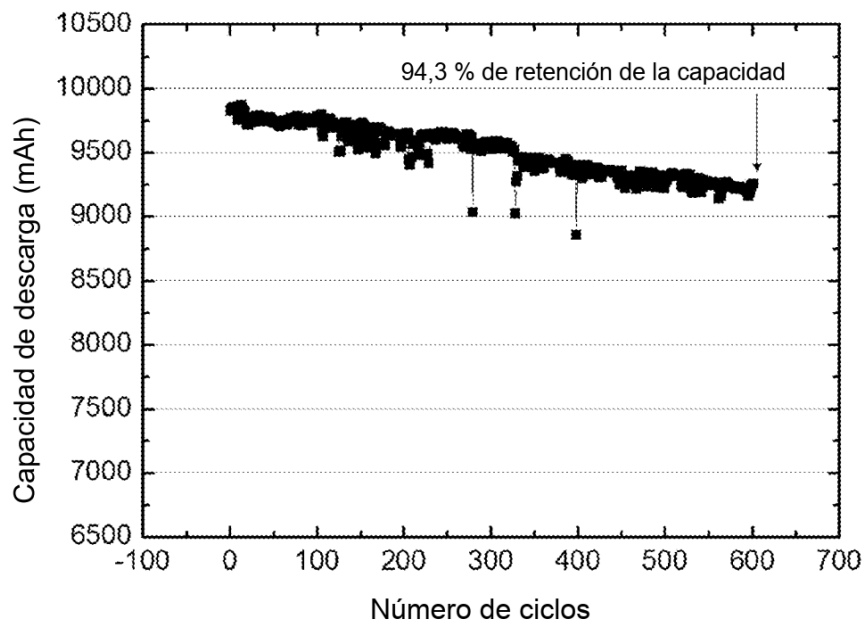


Figura 4

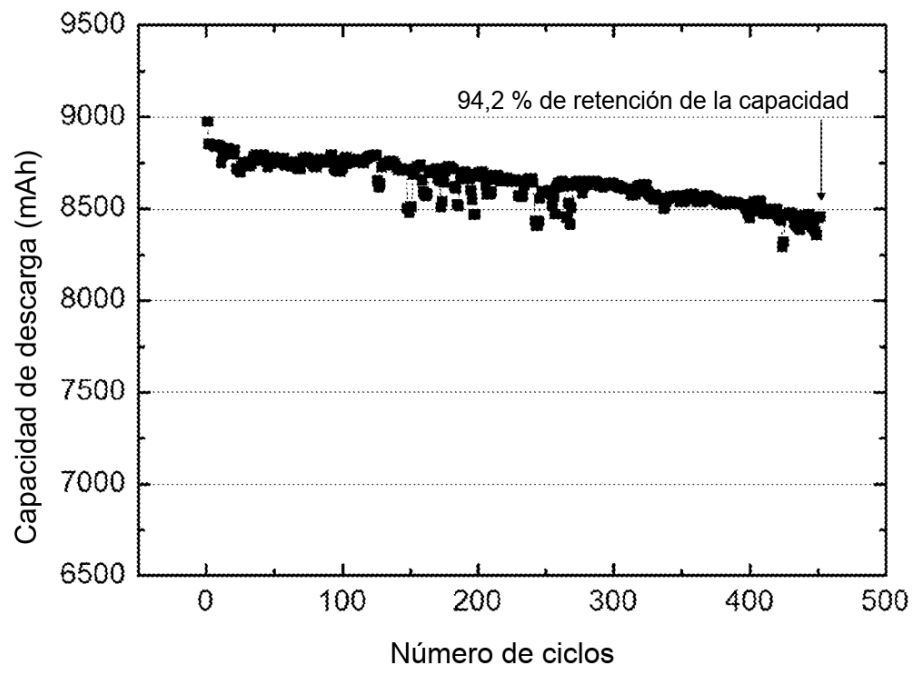


Figura 5