

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 050**

51 Int. Cl.:

**H01M 4/587** (2010.01)

**H01M 4/133** (2010.01)

**H01M 4/36** (2006.01)

**H01M 4/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.01.2020 PCT/CN2020/070076**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.07.2021 WO21134746**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.01.2020 E 20866949 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2024 EP 3872904**

54 Título: **Electrodo negativo y aparato electroquímico que contiene el electrodo negativo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.01.2025**

73 Titular/es:  
**NINGDE AMPEREX TECHNOLOGY LIMITED**  
**(100.00%)**  
**No. 1 XinGang Road, ZhangWan Town,**  
**JiaoCheng District**  
**Ningde City, Fujian Province 352100, CN**

72 Inventor/es:  
**TANG, JIA;**  
**FENG, PENGYANG;**  
**DONG, JIALI y**  
**XIE, YUANSEN**

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

ES 2 994 050 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**

Electrodo negativo y aparato electroquímico que contiene el electrodo negativo

**5 ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR**

**1. Sector técnico**

10 La presente solicitud se refiere a la técnica del almacenamiento de energía, y en particular a un ánodo de batería de iones de litio y a un dispositivo electroquímico, que es una batería de iones de litio, que lo comprende.

**2. Descripción de la técnica relacionada**

15 Como nuevo tipo de baterías ecológicas de alta energía, las baterías de iones de litio se utilizan ampliamente en ordenadores portátiles, teléfonos móviles y vehículos eléctricos de nueva energía. Esto plantea mayores requisitos de densidad de energía, ciclo de vida, coste y seguridad de las baterías de iones de litio.

20 Aumentar la densidad compactada de un ánodo es una buena manera de aumentar la densidad de energía de las baterías de iones de litio, pero una densidad compactada demasiado alta puede causar que las partículas del ánodo se rompan y dar como resultado una formación desigual de la película de interfaz del electrolito sólido (SEI, por sus siglas en inglés) y es un riesgo que pueda deteriorarse el rendimiento del ciclo. Además, una densidad compactada excesiva también provocará una mala infiltración del electrolito, una mayor resistencia de la superficie y el riesgo de la precipitación del litio y la deformación de la batería. El material activo del ánodo en la técnica anterior es susceptible a deformación y expansión después de ser sometido a balanceo y ciclos de carga y descarga.

**CARACTERÍSTICAS DE LA INVENCION**

30 Para resolver los problemas técnicos anteriores, la presente solicitud da a conocer un ánodo de batería de iones de litio tal como se define en las reivindicaciones adjuntas, que incluye una capa de material activo del ánodo y un colector de corriente, en el que la capa de material activo del ánodo comprende primeras partículas orientadas que tienen un primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente, y segundas partículas orientadas que tienen un segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente, en el que el primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  y el segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  cumplen  $20^\circ < \theta_2 < 70^\circ$ .

Las primeras partículas orientadas tienen un primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  que cumple:  $0^\circ < \theta_1 < 20^\circ$ .

40 Un área de las primeras partículas orientadas es del 9 % al 23 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.

45 En algunas realizaciones, en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a  $10 \mu\text{m}$  representan del 71,0 % al 93,0 % y las partículas que tienen un tamaño de partícula entre  $10 \mu\text{m}$  y  $35 \mu\text{m}$  representan del 7,0 % al 29,0 %.

En algunas realizaciones, las segundas partículas orientadas tienen un área relativa al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo mayor que la de las primeras partículas orientadas.

50 En algunas realizaciones, una fracción de área de las segundas partículas orientadas es del 37 % al 55 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo. En algunas realizaciones, en las segundas partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula de entre  $10 \mu\text{m}$  y  $35 \mu\text{m}$  representan del 22,0 % al 41,0 % y las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a  $10 \mu\text{m}$  representan del 3,5 % al 5,6 %.

55 En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo comprende además terceras partículas orientadas que tienen un tercer ángulo de inclinación  $\theta_3$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente. El tercer ángulo de inclinación  $\theta_3$  cumple con  $70^\circ < \theta_3 < 90^\circ$ . Un área de las terceras partículas orientadas es del 1,0 % al 15,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.  
60 En algunas realizaciones, en las terceras partículas orientadas, las partículas con un tamaño de partícula inferior a  $10 \mu\text{m}$  representan el 90,0 % o más.

En algunas realizaciones, el ánodo incluye una pluralidad de poros, y un área de la pluralidad de poros es del 21,0 % al 43,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.

65 En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo tiene una relación C004/C110 de 17,0 - 27,0.

En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo tiene un espesor de 90  $\mu\text{m}$ -143  $\mu\text{m}$ , y la densidad compactada del ánodo es 1,70  $\text{g}/\text{cm}^3$ -1,90  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

5 La presente solicitud también da a conocer un dispositivo electroquímico, que es una batería de iones de litio, que comprende cualquier ánodo tal como se describe en el presente documento.

10 En algunas realizaciones, después de que el dispositivo electroquímico de la presente solicitud esté completamente cargado y desmontado, la capa de material activo del ánodo tiene una relación C004/C110 de 10,22 - 19,35.

15 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, un área de las primeras partículas orientadas es del 11,0 % al 25,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.

En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, un área de las segundas partículas orientadas es del 29,0 % al 51,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.

20 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, un área de las terceras partículas orientadas es del 5,0 % al 19,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.

25 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, las partículas con un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan del 62,5 % al 87,7 % de las primeras partículas orientadas.

30 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, las partículas con un tamaño de partícula entre 10  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$  representan del 12,3 % al 37,5 % de las primeras partículas orientadas.

35 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, las partículas con un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan del 2,1 % al 3,9 % de las segundas partículas orientadas.

En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, las partículas con un tamaño de partícula entre 10  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$  representan del 21,5 % al 40,2 % de las segundas partículas orientadas.

40 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, las partículas con un tamaño de partícula superior a 35  $\mu\text{m}$  representan del 55,9 % al 76,4 % de las segundas partículas orientadas.

45 En algunas realizaciones, en el ánodo del dispositivo electroquímico de la presente solicitud que está completamente descargado y desmontado, las partículas con un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan el 90,0 % o más de las terceras partículas orientadas.

50 Aspectos y ventajas adicionales de las realizaciones de la presente solicitud se describirán o mostrarán en la siguiente descripción o se ilustrarán implementando los ejemplos de la presente solicitud.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

55 A continuación se ilustrarán brevemente los dibujos adjuntos. Se ilustrarán brevemente los dibujos necesarios para describir las realizaciones de la presente solicitud o la técnica anterior para facilitar la descripción de las realizaciones de la presente solicitud. Obviamente, los dibujos adjuntos que se describen a continuación sólo muestran algunas realizaciones de la presente solicitud. Para los expertos en la técnica, los dibujos de otras realizaciones aún se pueden obtener según las estructuras ilustradas en los dibujos sin ningún esfuerzo creativo.

60 La figura 1 es un diagrama esquemático que muestra la distribución de partículas de un material activo del ánodo según la presente solicitud, en el que la orientación 1 indica las primeras partículas orientadas tal como se describen en el presente documento, la orientación 2 indica las segundas partículas orientadas tal como se describen en el presente documento, la orientación 3 indica las terceras partículas orientadas tal como se describen en el presente documento, y la línea horizontal L en el medio indica el colector de corriente.

65

La figura 2 es una imagen de una capa de material activo de ánodo según la presente solicitud bajo un microscopio de polarización.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA**

5

Las realizaciones de la presente solicitud se describirán en detalle a continuación. En toda la memoria descriptiva, los componentes iguales o similares y los componentes que tienen funciones iguales o similares se indican mediante números de referencia similares. Las realizaciones descritas en el presente documento con respecto a los dibujos son ilustrativas y gráficas y se utilizan para proporcionar una comprensión básica de la presente solicitud. Las realizaciones de la presente solicitud no deben interpretarse como limitaciones de la presente solicitud.

10

Tal como se utilizan en la presente solicitud, los términos "aproximadamente", "sustancialmente", "esencialmente" y "aproximadamente" se utilizan para describir y explicar una pequeña variación. Cuando se usa en combinación con un evento o circunstancia, el término puede referirse a un ejemplo en el que el evento o circunstancia ocurre con precisión y un ejemplo en el que el evento o circunstancia ocurre aproximadamente. Por ejemplo, cuando se usa en combinación con un valor, el término puede referirse a un rango de variación menor o igual a  $\pm 10\%$  del valor, por ejemplo, menor o igual a  $\pm 5\%$ , menor o igual a  $\pm 4\%$ , menor o igual a  $\pm 3\%$ , menor o igual a  $\pm 2\%$ , menor o igual a  $\pm 1\%$ , menor o igual a  $\pm 0,5\%$ , menor o igual a  $\pm 0,1\%$ , o menor o igual a  $\pm 0,05\%$ . Por ejemplo, si una diferencia entre dos valores es menor o igual a  $\pm 10\%$  de un valor promedio del valor (por ejemplo, menor o igual a  $\pm 5\%$ , menor o igual a  $\pm 4\%$ , menor o igual a  $\pm 3\%$ , menor o igual a  $\pm 2\%$ , menor o igual a  $\pm 1\%$ , menor o igual a  $\pm 0,5\%$ , menor o igual a  $\pm 0,1\%$ , o menor o igual a  $\pm 0,05\%$ ), se podría considerar que los dos valores son "sustancialmente" iguales.

15

20

25

Además, para facilitar una descripción, en la presente solicitud se pueden utilizar "primero", "segundo", "tercero" y similares para distinguir entre diferentes componentes en un diagrama o una serie de diagramas. Las expresiones "primero", "segundo", "tercero" y similares no pretenden describir los componentes correspondientes.

30

Además, a veces, una cantidad, una proporción y otro valor se presentan en un formato de rango en la presente solicitud. Debe apreciarse que tales formatos de rango son por conveniencia y concisión, y deben entenderse de manera flexible que incluyen no solo valores especificados explícitamente para restricciones de rango, sino también todos los valores individuales o subrangos dentro de los rangos, como especificar explícitamente cada valor y cada subrango.

35

En la descripción detallada y las reivindicaciones, una lista de elementos conectados por el término "al menos uno de" o términos similares puede significar cualquier combinación de los elementos enumerados. Por ejemplo, si se enumeran los elementos A y B, entonces la frase "al menos uno de A y B" significa sólo A; sólo B; o A y B. En otro ejemplo, si se enumeran los elementos A, B y C, entonces la frase "al menos uno de A, B y C" significa sólo A; o sólo B; sólo C; A y B (excluyendo C); A y C (excluyendo B); B y C (excluyendo A); o todos A, B y C. El elemento A puede incluir un solo componente o múltiples componentes. El elemento B puede incluir un solo componente o múltiples componentes. El elemento C puede incluir un único componente o múltiples componentes.

40

45

En la descripción detallada y las reivindicaciones, una lista de elementos conectados por el término "al menos uno de" o términos similares puede significar cualquier combinación de los elementos enumerados. Por ejemplo, si se enumeran los elementos A y B, entonces la frase "al menos uno de A y B" significa sólo A; sólo B; o A y B. En otro ejemplo, si se enumeran los elementos A, B y C, entonces la frase "al menos uno de A, B y C" significa sólo A; o sólo B; sólo c; A y B (excluyendo C); A y C (excluyendo B); B y C (excluyendo A); o todos A, B y C. El elemento A puede incluir un solo componente o múltiples componentes. El artículo B puede incluir un solo componente o múltiples componentes. El artículo C puede incluir un único componente o múltiples componentes.

50

El material activo del ánodo es susceptible a la expansión, principalmente a lo largo de una dirección perpendicular al colector de corriente, después de haber sido sometido a balanceo y ciclos de carga y descarga. Las partículas del material activo del ánodo distribuidas en una dirección paralela al colector de corriente tienen más probabilidades de sufrir expansión en la dirección perpendicular al colector de corriente durante el ciclo, y las partículas distribuidas en la dirección perpendicular al colector de corriente tienen más probabilidades de sufrir deformación en la dirección paralela al colector de corriente.

60

Al ajustar el ángulo de orientación de las partículas de material activo en la capa de material activo del ánodo y la relación de área de las partículas con cada orientación con respecto al área de la sección transversal, la presente solicitud no sólo puede permitir que el ánodo proporcione una alta densidad de energía, sino que también para resolver el problema de la expansión del espesor de la capa de material activo del ánodo y la deformación de la apariencia y estructura de la batería. Además, el ion litio se puede intercalar dentro y fuera de la capa de material activo en todas las direcciones, mejorando así en gran medida el rendimiento de carga

65

y descarga rápida de la batería de ion litio.

### 1. Ánodo

- 5 Un primer aspecto de la presente solicitud se refiere a un ánodo de batería de iones de litio, que comprende una capa de material activo del ánodo y un colector de corriente, en el que las partículas en la capa de material activo del ánodo tienen al menos dos ángulos de inclinación diferentes con respecto a la dirección del colector de corriente.
- 10 En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud comprende primeras partículas orientadas que tienen un primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente, y segundas partículas orientadas que tienen un segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente, en el que un primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  y un segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  cumple  $20^\circ < \theta_2 < 70^\circ$ .
- 15 El primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  de las primeras partículas orientadas en la capa de material activo del ánodo cumple con  $0^\circ < \theta_1 \leq 20^\circ$ , por ejemplo,  $5^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $20^\circ$ , o cualquier rango entre ellos.
- 20 Según la presente invención, el segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  de las segundas partículas orientadas en la capa de material activo del ánodo es  $20^\circ < \theta_2 \leq 70^\circ$ , y puede ser, por ejemplo,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $70^\circ$  o cualquier rango entre ellos.
- 25 En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud comprende además terceras partículas orientadas que tienen un tercer ángulo de inclinación  $\theta_3$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente. Un tercer ángulo de inclinación  $\theta_3$  cumple con  $70^\circ < \theta_3 \leq 90^\circ$ , por ejemplo,  $75^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $85^\circ$ ,  $90^\circ$ , cualquier rango entre ellos.
- 30 Las estructuras de organización óptica de un material activo de ánodo anisotrópico con varias densidades compactadas se pueden observar bajo un microscopio de polarización. Dado que la luz irradiada se propaga a la misma velocidad en todas direcciones cuando se propaga sobre la superficie de un material isotrópico, el índice de refracción es independiente de la dirección de propagación de la luz. Para un material anisotrópico, cuando un haz de luz incide sobre su superficie, se generarán dos haces de luz refractada, uno de los cuales sigue la ley de refracción y se denomina luz ordinaria, y se denomina luz o para abreviar, y la otra, que sigue la ley de refracción, se llama luz extraordinaria y, para abreviar, luz e. Después de la refracción, estos dos haces de luz se dividen en luz polarizada linealmente perpendicularmente entre sí. La reflexión de la luz polarizada sobre la superficie de una sustancia ópticamente isotrópica sigue la ley de la reflexión. Las reflectividades en todas las direcciones son las mismas y el campo de visión no cambiará. La reflexión de la luz polarizada sobre la superficie de una sustancia ópticamente anisotrópica tiene diferentes reflectividades en diferentes fases de los granos, lo que se manifiesta como el fenómeno de extinción del campo claro y oscuro en el campo de visión.
- 35 40
- 45 Bajo una cierta presión, las partículas del material activo del ánodo se disponen en el colector de corriente en varias orientaciones (es decir, con diferentes ángulos de inclinación). Bajo un microscopio de polarización, el valor de gris y el valor de color de partículas con la misma orientación son básicamente los mismos. Calculando estadísticamente las áreas de las partículas con la misma orientación, se obtiene la relación del área de las partículas con tal orientación con respecto al área de la sección transversal.
- 50 Una relación de área de las primeras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo en el ánodo de la presente solicitud es 9 %-23 %, por ejemplo, 9 %, 10 %, 15 %, 17 %, 20 %, 23 %, o cualquier rango entre ellos.
- 55 En algunas realizaciones, las segundas partículas orientadas en el ánodo de la presente solicitud tienen una relación de área con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo mayor que la de las primeras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal del material activo de la capa del ánodo. En algunas realizaciones, una relación de área de las segundas partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es 37 %-55 %, por ejemplo, 37 %, 40 %, 45 %, 50 %, 55 %, o cualquier rango entre ellos.
- 60 En algunas realizaciones, una relación de área de las terceras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es 1,0 %-15,0 %, por ejemplo, 1,0 %, 5,0 %, 8,0 %, 10,0 %, 13,0 %, 15,0 % o cualquier rango entre ellos.
- 65 Tal como se muestra en la figura 1, en algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud comprende las primeras partículas orientadas, las segundas partículas orientadas y las terceras partículas orientadas. Las primeras partículas orientadas tienen una orientación 1 con respecto a la dirección del colector de corriente (es decir, un primer ángulo de inclinación es mayor de  $0^\circ$  a  $20^\circ$ ), que es

sustancialmente paralela al colector de corriente. Las segundas partículas orientadas tienen una orientación 2 con respecto a la dirección del colector de corriente (es decir, un segundo ángulo de inclinación es superior a 20° y no superior a 70°). Las terceras partículas orientadas tienen una orientación 3 con respecto a la dirección del colector de corriente (es decir, un tercer ángulo de inclinación es superior a 70° y no superior a 90°), que es aproximadamente perpendicular al colector de corriente.

En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud consta de las primeras partículas orientadas, las segundas partículas orientadas y las terceras partículas orientadas. En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud consta de las primeras partículas orientadas y las segundas partículas orientadas como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud comprende o consiste en las primeras partículas orientadas y las terceras partículas orientadas como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo de la presente solicitud comprende o consiste en las segundas partículas orientadas y las terceras partículas orientadas como se describe en el presente documento.

En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo tiene una relación C004/C110 de 17,0 a 27,0, por ejemplo, 17,0, 18,0, 20,0, 22,0, 25,0, 27,0 o cualquier rango entre ellos.

El material activo del ánodo utilizado para las primeras partículas orientadas, las segundas partículas orientadas y las terceras partículas orientadas de la presente solicitud incluye grafito natural, grafito artificial o una combinación de los mismos. Para materiales de grafito cristalino, se utiliza un difractómetro de rayos X Bruker para probar el XRD de acuerdo con las reglas generales para el análisis difractométrico de rayos X JIS K 0131-1996 y el método de determinación de los parámetros de la red de grafito artificial JB/T 4220-2011. Varias posiciones de los picos representan diferentes tamaños de celdas de cristal de grafito, que reflejan el grado de grafitización de los materiales de grafito. El área del pico se obtiene integrando la intensidad del pico con el ancho del medio pico. La relación entre el área del pico 004 y el área del pico 110 se denomina C004/C110, lo que afecta la ruta de transporte de los iones de litio.

En circunstancias normales, el material del ánodo de grafito, debido a su estructura apilada de láminas, tiende a distribuirse en una estructura en capas paralela a la dirección del colector de corriente bajo una cierta presión. En las partículas del material activo del ánodo, si la relación de área de las primeras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal es demasiado grande, esto afectará seriamente la infiltración del electrolito dentro del ánodo, afectando así el transporte de iones de litio, y el rendimiento de la tasa de baterías de iones de litio. En la presente solicitud, la relación de área de las primeras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es inferior al 23 %, por lo que los problemas anteriores pueden evitarse eficazmente.

Según la presente solicitud, cuando las relaciones de área de partículas con diversas orientaciones en el ánodo caen dentro de los rangos descritos en el presente documento, se puede lograr la densidad compactada objetivo. Al mismo tiempo, la capa de material activo del ánodo exhibe propiedades isotrópicas, lo que favorece la rápida intercalación o desintercalación de iones de litio, mejorando así el rendimiento de carga y descarga. Durante el ciclo de las baterías de iones de litio, en presencia de las segundas partículas orientadas con la relación de área mencionada anteriormente con respecto al área de la sección transversal, la tensión generada por la intercalación o desintercalación de iones de litio dentro/fuera de las capas de material activo puede ser suprimido o compensado por fuerzas procedentes de diversas direcciones. Como resultado, no sólo se reduce en gran medida la expansión de la batería de iones de litio en la dirección del espesor durante el ciclo, sino que también se puede suprimir eficazmente la deformación de la batería causada por la expansión lateral.

En particular, cuando la relación de área de las segundas partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal en el ánodo es inferior al 55 %, la tensión en la dirección perpendicular al colector de corriente es moderada, para satisfacer la demanda de alta densidad compactada del ánodo. Cuando una relación de área de las segundas partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal en el ánodo es superior al 37 %, la sobretensión del ánodo causada por una relación de área demasiado grande de las primeras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal se puede evitar, y se puede evitar el bloqueo del camino de los iones de litio, y se reduce la expansión de las baterías de iones de litio en la dirección del espesor durante el ciclo.

En algunas realizaciones, las primeras partículas orientadas, las segundas partículas orientadas y las terceras partículas orientadas incluyen partículas primarias y/o partículas secundarias. Las partículas secundarias son partículas que se obtienen mezclando las partículas primarias con un aglutinante como el asfalto y luego grafitándolas. El contenido de las partículas primarias es del 20 % al 50 % y el contenido de las partículas secundarias es del 50 % al 80 %. La presencia de partículas secundarias en la capa de material activo del ánodo reduce el valor C004/C110 de toda la capa de material activo del ánodo. Durante la compresión de la capa de material activo, el área y la dirección comprimidas aumentan, por lo que después

de la compresión todavía se mantiene un ángulo con respecto al plano del colector de corriente.

Además, la presente solicitud también logra su propósito ajustando la proporción de partículas con diferentes tamaños de partículas en varias partículas orientadas.

5

En algunas realizaciones, en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan del 71,0 % al 93,0 %, por ejemplo, 71,0 %, 75 %, 78 %, 80 %, 85 %, 88 %, 90 %, 93 % o cualquier rango entre ellos. En algunas realizaciones, en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula de 10  $\mu\text{m}$ -35  $\mu\text{m}$  representan del 7,0 % al 29,0 %, por ejemplo, 7,0 %, 10,0 %, 15,0 %, 18,0 %, 20,0 %, 25,0 %, 28,0 %, 29,0 % o cualquier rango intermedio.

10

En algunas realizaciones, en las segundas partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula entre 10  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$  representan del 22,0 % al 41,0 %, por ejemplo, 22,0 %, 25,0 %, 30,0 %, 35,0 %, 40,0 %, 41,0 %, o cualquier rango entre ellos. En algunas realizaciones, en las segundas partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan del 3,5 % al 5,6 %, por ejemplo, del 3,5 %, 4,0 %, 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %, 5,6 % o cualquier rangos entre ellos.

15

En algunas realizaciones, las terceras partículas orientadas en el ánodo consisten esencialmente en partículas con un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$ . Por ejemplo, en las terceras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan el 90,0 % o más, el 95 % o más, el 98 % o más, el 100 % o cualquier intervalo intermedio.

20

En las segundas partículas orientadas, una proporción de partículas con un tamaño de partícula grande es superior al 22,0 %. Las partículas grandes tienen una superficie de soporte de fuerza mayor entre ellas y estarán sometidas a una mayor fuerza de fricción durante el proceso de compresión. Por lo tanto, durante el proceso de compresión, se obstaculiza la tendencia de distribución a lo largo de la dirección paralela al colector de corriente, de modo que las partículas eventualmente forman un cierto ángulo con respecto al colector de corriente. Además, la presencia de partículas con un tamaño de partícula grande en las segundas partículas orientadas también puede garantizar que el nodo tenga una alta densidad de energía.

25

30

Una proporción de partículas con un tamaño de partícula grande en las primeras partículas orientadas es inferior al 29,0 %, de modo que se puede evitar la degradación del rendimiento de velocidad causada por las partículas con un tamaño de partícula grande que afecta a la rápida intercalación o desintercalación de iones de litio. Las partículas de tercera orientación son básicamente una mayoría de partículas con un tamaño de partícula pequeño. Esto se debe a que la orientación 3 es principalmente en la dirección perpendicular al colector de corriente, y el predominio de partículas pequeñas puede evitar que las partículas sean aplastadas bajo presión.

35

En algunas realizaciones, la capa de material activo del ánodo que tiene poros también se puede observar bajo un microscopio de polarización. Los poros de la capa de material activo del ánodo no muestran polaridad bajo un microscopio de polarización, por lo que muestran un color diferente al de la capa activa. La proporción de poros en el área de la sección transversal (excluyendo el área del colector de corriente) de la capa de material activo del ánodo se puede obtener mediante cálculo. La distribución de la porosidad refleja en cierta medida la relación de equilibrio entre la densidad compactada del ánodo y la infiltración del electrolito. Si la porosidad es demasiado pequeña (por ejemplo, menos del 21,0 %), la densidad compactada del ánodo es demasiado alta, lo que da como resultado una mala infiltración del electrolito en el ánodo. Si la porosidad es demasiado grande (por ejemplo, más del 43,0 %), la densidad compactada del ánodo no puede satisfacer la demanda de alta densidad de energía.

40

45

50

En algunas realizaciones de la presente solicitud, una relación del poro con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es del 21,0 % al 43,0 %, por ejemplo, 21,0 %, 25,0 %, 30,0 %, 35,0 %, 40,0 %, 43,0 %, o cualquier rango entre ellos. Cuando la porosidad del ánodo está dentro de los rangos anteriores, se puede lograr una buena infiltración del electrolito y se reducen significativamente la expansión y deformación durante el proceso del ciclo.

55

En el ánodo de la presente solicitud, la capa de material activo del ánodo comprende además un aglutinante y un dispersante. El aglutinante y el dispersante incluyen al menos uno de fluoruro de polivinilideno, un copolímero de fluoruro de vinilideno-hexafluoropropileno, una poliamida, poliacrilonitrilo, un éster de poliacrilato, ácido poliacrílico, una sal de poliacrilato, carboximetilcelulosa sódica, polivinilpirrolidona, éter polivinílico, metacrilato de polimetilo, politetrafluoroetileno, polihexafluoropropileno, caucho de estireno-butadieno, un éster de acrilato y una resina epoxi.

60

En algunas realizaciones, un peso de recubrimiento (CW) de la capa de material activo del ánodo es de 0,090  $\text{mg}/\text{mm}^2$  a 0,120  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , por ejemplo, 0,090  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , 0,095  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , 0,100  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , 0,105  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , 0,110  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , 0,120  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , o cualquier rango entre ellos.

65

En algunas realizaciones, una capa de material activo de ánodo tiene un espesor de 90  $\mu\text{m}$  a 143  $\mu\text{m}$ , por ejemplo, 90  $\mu\text{m}$ , 95  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 110  $\mu\text{m}$ , 120  $\mu\text{m}$ , 130  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ , 143  $\mu\text{m}$ , o cualquier rango entre ellos. Cuando el espesor de la capa de material activo del ánodo está dentro de los rangos anteriores, los iones de litio se pueden intercalar mejor.

En algunas realizaciones, el ánodo de la presente solicitud tiene una densidad compactada de 1,70  $\text{g}/\text{cm}^3$  a 1,90  $\text{g}/\text{cm}^3$ , por ejemplo, 1,70  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1,75  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1,80  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1,85  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1,88  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 1,90  $\text{g}/\text{cm}^3$ , o cualquier rango entre ellos.

En algunas realizaciones, el colector de corriente del ánodo está provisto de una capa de imprimación que tiene un espesor de 0,1  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ , por ejemplo, de 0,5  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ , de 0,6  $\mu\text{m}$  a 3,5  $\mu\text{m}$  o de 0,7  $\mu\text{m}$  a 3  $\mu\text{m}$ .

En algunas realizaciones, la capa de imprimación sobre el colector de corriente del ánodo comprende un material conductor que incluye al menos uno de grafeno, óxido de grafeno, nanotubos de carbono, negro de humo, carbono duro y grafito artificial.

La orientación de la capa de material activo del ánodo en las realizaciones de la presente solicitud se puede controlar controlando la presión aplicada a la superficie de la capa de material activo del ánodo. La presión aplicada puede controlarse mediante el espacio entre los rodillos, el número de laminados, el tiempo de laminado y el espesor de la capa de material activo del ánodo.

## 2. Dispositivo electroquímico

La presente solicitud también da a conocer un dispositivo electroquímico que comprende cualquier ánodo como se describe en el presente documento. El dispositivo electroquímico es una batería de iones de litio.

En algunas realizaciones, después de que el dispositivo electroquímico de la presente solicitud esté completamente cargado y desmontado, una capa de material activo del ánodo del mismo tiene una relación C004/C110 de 10,0 a 19,5, por ejemplo, 10,0, 10,22, 10,5, 11,0, 12,0, 13,0, 14,0, 15,0, 16,0, 17,0, 18,0, 19,0, 19,35, 19,5 o cualquier rango entre ellos.

Una vez que el dispositivo electroquímico de la presente solicitud se descarga y desmonta por completo, el ánodo se somete a pulido de sección transversal (CP) y análisis de polarización. En algunas realizaciones, una fracción de área de las primeras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es de 11,0 % a 25,0 %, por ejemplo, 11,0 %, 13,0 %, 15,0 %, 18,0 %, 20,0 %, 25,0 % o cualquier rango entre ellos. En algunas realizaciones, una relación de área de las segundas partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es de 29,0 % a 51,0 %, por ejemplo, 29,0 %, 30,0 %, 35,0 %, 40,0 %, 42,0 %, 45,0 %, 50,0 %, 51,0 % o cualquier rango entre ellos. En algunas realizaciones, una fracción de área de las terceras partículas orientadas con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es de 5,0 % a 19,0 %, por ejemplo, 5,0 %, 8,0 %, 10,0 %, 13,0 %, 15,0 %, 17,0 %, 19,0 % o cualquier rango entre ellos.

En algunas realizaciones, después de que el dispositivo electroquímico de la presente solicitud se descarga y desmonta completamente, un ánodo tiene cualquiera de las siguientes características: (1) en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan el 62,5 % hasta el 87,7 %, y las partículas que tienen un tamaño de partícula entre 10  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$  representan del 12,3 % al 37,5 %; (2) en las segundas partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan del 2,1 % al 3,9 %, las partículas que tienen un tamaño de partícula entre 10  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$  representan del 21,5 % al 40,2 %, y las partículas que tienen una partícula el tamaño superior a 35  $\mu\text{m}$  representa del 55,9 % al 76,4 %; y (3) en las terceras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan el 90,0 % o más.

El dispositivo electroquímico preparado con el ánodo de la presente solicitud es adecuado para su uso en dispositivos electrónicos en diversos sectores.

El uso del dispositivo electroquímico de la presente solicitud no está particularmente limitado y puede usarse para cualquier propósito conocido en la técnica. En una realización, el dispositivo electroquímico según la presente solicitud es aplicable, sin limitación, a ordenadores portátiles, ordenadores con entrada por lápiz, ordenadores móviles, reproductores de libros electrónicos, teléfonos portátiles, máquinas de fax portátiles, fotocopiadoras portátiles, impresoras portátiles, cabezales auriculares estéreo montados, grabadoras de vídeo, televisores LCD, limpiadores portátiles, reproductores de CD portátiles, reproductores de minidiscos, transceptores, cuadernos electrónicos, calculadoras, tarjetas de memoria, grabadoras portátiles, radios, fuentes de energía de respaldo, motores, vehículos, motocicletas, escúteres, bicicletas, iluminación aparatos, juguetes, consolas de juegos, relojes, herramientas eléctricas, linternas, cámaras fotográficas, baterías grandes para uso doméstico y condensadores de iones de litio.

**Ejemplos**

5 Las implementaciones de la presente solicitud se ilustran mediante ejemplos a continuación. Debe entenderse que estos ejemplos son meramente ilustrativos de la presente solicitud y no pretenden limitar el alcance de protección reivindicado de la presente solicitud.

**Ejemplo 1**

10 1. Preparación del ánodo:

15 Se utilizaron un material activo de ánodo de grafito (que comprende entre un 20 % y un 60 % de partículas primarias y entre un 40 % y un 80 % de partículas secundarias), el aglutinante de caucho de estireno-butadieno (SBR) y el espesante de carboximetilcelulosa sódica (abreviado como CMC). Se agitó completamente y se mezcló en una proporción en peso de 95:2:3 en agua desionizada como disolvente para formar una suspensión de ánodo uniforme. La suspensión se aplicó sobre una lámina de cobre como colector de corriente que se recubrió previamente con una capa de imprimación (por ejemplo, negro de carbón) que tenía un espesor de 1,5  $\mu\text{m}$  y se secó. El ánodo recubierto se prensó en frío bajo diferentes presiones de rodillo, se cortó y se soldó con pestañas. El peso del recubrimiento fue de 0,100  $\text{mg}/\text{mm}^2$ , el espesor del recubrimiento fue de 130  $\mu\text{m}$  y la densidad compactada fue de 1,70  $\text{g}/\text{cm}^3$  a 1,88  $\text{g}/\text{cm}^3$ . De este modo se obtuvieron ánodos con diferentes densidades de compactación. Se recogieron el espesor y ancho de los ánodos bajo diferentes densidades de compactado.

25 2. Proceso de preparación de muestras de sección transversal del ánodo pulido:

30 El ánodo tratado anteriormente se cortó en un tamaño de 0,5 cm x 1 cm. El ánodo cortado se unió a un soporte de oblea de silicio que tenía un tamaño de 1 cm x 1,5 cm utilizando un adhesivo conductor. Un extremo del ánodo se pulió con iones de argón (parámetros: voltaje de aceleración de 8 KV; 4 horas para cada muestra). El pulido con iones de argón es un proceso en el que se utiliza un campo eléctrico de alto voltaje para ionizar el argón y producir un estado iónico de los iones de argón que bombardean la superficie del ánodo a alta velocidad bajo un voltaje de aceleración, de modo que el ánodo se corroe capa por capa para lograr el efecto de pulido.

35 Una vez preparada la muestra del ánodo, se analizó bajo un microscopio de polarización.

3. Funcionamiento con un microscopio de polarización.

40 Proceso de adquisición de imágenes: se utilizó un microscopio vertical Axio imager (Carl Zeiss AG, Imagine A2) para la adquisición de imágenes. Se conectó una cámara digital AxioCam MRc5 a un microscopio de polarización mediante un conector y se tomó una imagen de microscopía óptica de luz polarizada con un tiempo de obturación de 1,6 s. Las imágenes capturadas por la cámara se transfirieron automáticamente a una computadora.

45 Proceso de análisis de imagen: Se seleccionó como objeto de análisis una imagen de 1200 píxeles x 1600 píxeles (lo que equivale a un campo de visión de 480  $\mu\text{m}$  x 540  $\mu\text{m}$ ). El análisis se realizó utilizando el software Multiphase de AxioVision. Después de importar las fotografías adquiridas al software, se hizo clic en un punto con una orientación en la imagen, luego también se seleccionaron todas las áreas que tenían un valor de gris y un valor de color idénticos a los del objeto probado. También se seleccionaron puntos con otras orientaciones utilizando el mismo método. Se obtuvieron así zonas con distintas orientaciones y distintos colores. El primer ángulo de inclinación de las primeras partículas orientadas fue  $0^\circ < \theta_1 \leq 20^\circ$ , y el segundo ángulo de inclinación de las segundas partículas orientadas fue  $20^\circ < \theta_2 < 70^\circ$ . Los datos de partículas con diversas orientaciones en la imagen y sus áreas se midieron respectivamente utilizando el software de cálculo automático de AxioVision (Axio Vision SE64 Rel.4.9).

55 4. Preparación de batería de iones de litio.

60 (1) Preparación del cátodo: El material activo del cátodo de óxido de litio y cobalto (que tiene la fórmula molecular de  $\text{LiCoO}_2$ ), el agente conductor de negro de acetileno y el aglutinante de fluoruro de polivinilideno (PVDF) se agitaron y mezclaron completamente en una proporción en peso de 96:2:2 en una cantidad adecuada de N-metilpirrolidona (NMP) como disolvente, para formar una suspensión catódica uniforme. La suspensión se aplicó a un colector de corriente catódico de lámina de Al, se secó, se prensó en frío, se cortó y se soldó con lengüetas para obtener un cátodo.

65 (2) Preparación del ánodo: Se utilizó el ánodo preparado en la etapa 1 anterior.

(3) Separador: Como separador se utilizó una película de polímero de PE poroso que tenía un espesor

de 7 µm.

5 (4) Preparación del electrolito: bajo una atmósfera de argón seca, se mezclaron carbonato de etileno, carbonato de propileno y carbonato de dietilo en una proporción en peso de 1:1:1, y luego se añadió  $\text{LiPF}_6$  y se mezcló uniformemente para formar un electrolito básico, en el que la concentración de  $\text{LiPF}_6$  era 1,15 mol/l. Basado en el peso total del electrolito, se añadieron carbonato de fluoroetileno al 3 % y adiponitrilo al 2 % y se mezclaron uniformemente para obtener el electrolito.

10 (5) Preparación de la batería de iones de litio: el cátodo, el separador y el ánodo se laminaron de manera que el separador estuviera ubicado entre el cátodo y el ánodo. Luego, se enrollaron y se colocaron en una lámina de embalaje exterior. Se inyectó el electrolito preparado anteriormente y después del envasado al vacío, reposo, formación, conformación y otros procedimientos, se obtuvo una batería de iones de litio.

15 5. Prueba de rendimiento eléctrico de la batería.

(1) Carga/descarga completa de la batería

20 Carga completa de la batería: la batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25 °C. La batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 0,7 C y luego a 0,05 C con un voltaje constante de 4,4 V.

25 Descarga completa de la batería: la batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25 °C. La batería de iones de litio se descargó a 3 V con una corriente constante de 0,5 C.

(2) Prueba de precipitación de litio sobre ánodo.

30 La batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25 °C. La batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 0,7 C y luego a 0,05 C con un voltaje constante de 4,4 V; se dejó reposar durante 5 min; y se descargó a 3,0 V a una corriente constante de 0,5 C y se dejó reposar durante 5 min. Después de repetir el proceso de carga y descarga anterior 10 veces, la batería se cargó completamente, se desmontó en una cámara seca y se fotografió para registrar el estado del ánodo.

35 Determinación del grado de precipitación del litio: Este se determinó según el estado del ánodo luego de haber sido completamente cargado y desarmado. Cuando el ánodo en general aparece de color amarillo dorado y el área que aparece gris representa menos del 2 %, se determina que no hay precipitación de litio. Cuando el ánodo tiene una apariencia mayoritariamente de color amarillo dorado, en algunas posiciones se ve gris y el área que aparece en gris representa del 2 % al 20 %, se determina que se trata de una ligera precipitación de litio. Cuando el ánodo es parcialmente gris y parcialmente amarillo dorado, y el área que aparece gris representa del 20 % al 60 %, se determina como precipitación de litio. Cuando el ánodo aparece en gran medida gris y el área que aparece gris representa más del 60 %, se determina que se trata de una precipitación grave de litio.

45 (3) Prueba de resistencia de corriente continua (DCR)

50 La batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 1,5 C y luego a 0,05 C con un voltaje constante; se dejó reposar durante 30 min; y se descargó a 0,1 C durante 10 s (muestreado una vez cada 0,1 s para registrar el voltaje  $U_1$  correspondiente), y luego se descargó a 1 C durante 360 s (muestreado una vez cada 0,1 s para registrar el voltaje  $U_2$  correspondiente). El procedimiento de carga y descarga se repitió 5 veces. "1C" es el valor actual cuando la capacidad de la batería se descarga completamente en 1 hora.

55 El DCR se calcula según la fórmula  $\text{DCR} = (U_2 - U_1) / (1C - 0,1C)$ . El DCR mencionado en la presente solicitud es un valor del 50 % de SOC (estado de carga).

(4) Espectro de impedancia electroquímica (EIS)

60 a) Preparación de batería de tres electrodos y revestimiento de litio: El proceso de preparación es el mismo que el descrito anteriormente para preparar una batería de iones de litio. Se conectó un cable de cobre a la batería como electrodo de referencia durante el proceso de preparación de la batería de iones de litio. Los ánodos se recubrieron con litio durante 6 horas a una corriente de 20 µA y luego se probaron para determinar EIS después del revestimiento de litio.

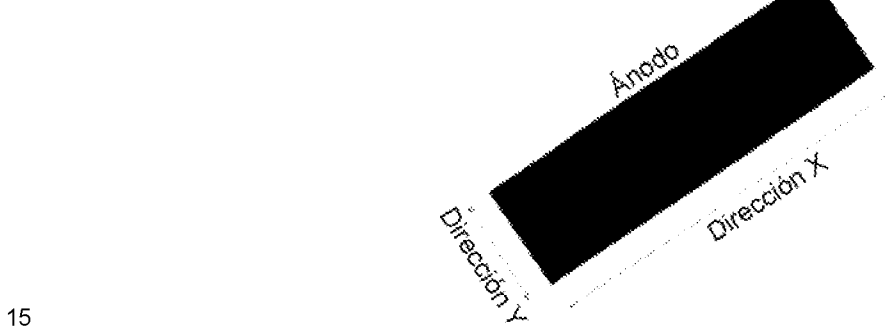
65 b) Paso de prueba EIS: se conectó una batería de tres electrodos recubierta de litio a una estación de trabajo electroquímica Bio-Logic VMP3B producida por Bio-Roger y se probó a una frecuencia que oscilaba entre 30 mHz y 50 kHz y una amplitud de 5 mV. Después de ser recopilados, los datos se

analizaron con el espectro de impedancia de plano complejo para obtener los datos de Rct.

(5) Prueba de expansión del ánodo en la dirección del eje X/Y

5

La batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25°C. La batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 0,7 C y luego a 0,05 C con un voltaje constante de 4,4 V. La batería se desmontó en una cámara seca. Se cortó parte del ánodo y se determinó el ancho del ánodo a lo largo de la dirección del eje X/Y usando un instrumento de medición de ancho en línea (CCD) y se comparó con el ancho del ánodo en el paso 1 (Preparación del ánodo), para obtener la tasa de expansión del ánodo a lo largo del eje X/Y. La expansión de un ánodo a lo largo de la dirección del eje X/Y se refiere al crecimiento del ánodo a lo largo de la dirección del eje X/Y. Las direcciones de los ejes X e Y se muestran a continuación.



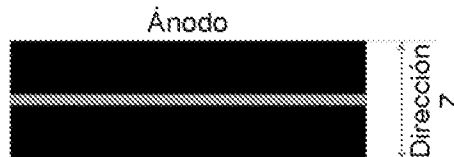
15

(6) Prueba de expansión a lo largo del eje Z del ánodo al 50 % SOC

a) La batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25 °C. La batería de iones de litio se cargó a 3,85 V a una corriente constante de 0,7 C (es decir, 50 % SOC) y luego se desmontó en una cámara seca. Se registró el espesor del ánodo (número de puntos muestreados >14).

25

b) El espesor del ánodo se comparó con el espesor de ánodos de varias densidades compactadas en el paso 1 (Preparación del nodo) para obtener la tasa de expansión del ánodo a lo largo de la dirección del eje Z. La dirección del eje Z es como se muestra a continuación.



30

(7) Prueba de expansión de batería después de ciclos.

La batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 45 °C. Se registró el espesor inicial de la batería (PPG<sub>0</sub> y MMC<sub>0</sub>). La batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 0,7 C y luego a 0,05 C con un voltaje constante de 4,4 V. Se registró el espesor de la batería (PPG<sub>1</sub> y MMC<sub>1</sub>). Se dejó reposar la batería durante 5 min; y se descargó a 3,0 V a una corriente constante de 0,5 C y se dejó reposar durante 5 min. El proceso de carga y descarga se repitió 500 veces. Para los primeros 200 ciclos, el espesor de la batería se registró cada 50 ciclos de carga y descarga, y para los siguientes 201 ciclos -500 ciclos, el espesor de la batería se registró cada 100 ciclos (PPG<sub>x</sub> y MMC<sub>x</sub>, donde X representa el número de ciclos), y se registró la capacidad residual después de cada ciclo de carga y descarga.

45

Prueba PPG: en la prueba PPG, se utilizó un medidor de espesor de batería de paquete blando PPG (fabricado por Shenzhen Altomei Automation Technology Co., Ltd.) para la detección automática. El proceso de prueba fue el siguiente. La batería se colocó en el panel de prueba inferior del instrumento y la cubierta superior se bajó a una velocidad uniforme durante la prueba. El espesor de la batería se midió mediante detección de presión.

50

Prueba MMC: La prueba MMC se llevó a cabo utilizando un micrómetro (fabricado por Mitutoyo, modelo: MDC-25SX) para medir el espesor de la pestaña del cátodo en la batería en tres puntos (MMC<sub>1x</sub>, MMC<sub>2x</sub> y

50

## ES 2 994 050 T3

MMC<sub>3x</sub>), donde los números 1, 2 y 3 corresponden a diferentes posiciones de prueba, el subíndice x corresponde al número de ciclos.  $MMC_x = (MMC_{1x} + MMC_{2x} + MMC_{3x})/3$ , expansión MMC =  $(MMC_x - MMC_0)/MMC_0 \times 100 \%$ .

5 La deformación de la batería se calculó a partir del espesor registrado de la batería. Deformación de expansión después del ciclo a 45 °C =  $[PPG_x / (\text{Max}(MMC_{1x}, MMC_{2x}, MMC_{3x})) - 1] \times 100 \%$ , donde Max (MMC<sub>1x</sub>, MMC<sub>2x</sub>, MMC<sub>3x</sub>) representa el valor máximo de los tres puntos de prueba.

(8) Prueba de tasa de la batería

10

La batería de prueba se dejó reposar durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25 °C. La batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 0,7 C y luego a 0,05 C con un voltaje constante de 4,4 V; se dejó reposar durante 5 min; y se descargó a 3,0 V a una corriente constante de 2 C y se dejó reposar durante 5 min. Se registró la capacidad de descarga y se comparó con la capacidad de descarga a 0,1 °C para calcular la tasa de retención de la capacidad de descarga.

15

Tasa de retención de la capacidad de descarga =  $\text{capacidad de descarga a } 2C / \text{capacidad de descarga a } 0,1C \times 100 \%$

20

(9) Deformación (ondulación) durante el proceso de 150 % SOC

25

Se dejó reposar la batería de prueba durante 5 minutos a una temperatura de prueba de 25 °C y se registró el espesor inicial de la batería (PPG<sub>0</sub> y MMC<sub>0</sub>, respectivamente). Luego, la batería de iones de litio se cargó a 4,4 V con una corriente constante de 0,5 C y luego a 0,025 C con un voltaje constante de 4,4 V (es decir, 100 % SOC), luego se cargó durante 1 hora con una corriente constante de 0,1 C, y se mantuvo durante 30 min. Se registró el espesor de la batería. El proceso de carga a una corriente constante de 0,1C se repitió 5 veces (donde 110 % SOC, 120 % SOC, 130 % SOC, 140 % SOC y 150 % SOC correspondieron al primero, segundo, tercero, cuarto y quinto) proceso de recarga, respectivamente). Cada proceso de carga continuó durante 1 hora y la batería se mantuvo en reposo durante 30 minutos después de cada proceso de carga. Se registró el espesor de la batería (PPG<sub>x</sub> y MMC<sub>x</sub>, respectivamente, donde X = 1, 2, 3, 4 y 5). Una vez completada la prueba, se calculó la deformación de la batería. Deformación durante el proceso de 150 % SOC =  $[PPG_x / (\text{Max}(MMC_{1x}, MMC_{2x}, MMC_{3x})) - 1] \times 100 \%$ , donde Max (MMC<sub>1x</sub>, MMC<sub>2x</sub>, MMC<sub>3x</sub>) representa el valor máximo de los tres puntos de prueba.

30

35

La tabla 1 muestra la relación entre la orientación del material activo del ánodo y el rendimiento eléctrico del mismo material de ánodo usado en los ejemplos 1-6 y el ejemplo comparativo 1 a diversas densidades compactadas.

Tabla 1

	Densidad compactada, g/cm <sup>3</sup>	Proporción de la primera orientación	Proporción de la segunda orientación	Precipitación de iones de litio a 25 °C	Expansión después del ciclo (500 veces) a 45 °C
Ejemplo 1	1,70	9 %	39 %	Sin precipitación de iones de litio	2,0 %
Ejemplo 2	1,74	11 %	41 %	Sin precipitación de iones de litio	2,6 %
Ejemplo 3	1,78	16 %	42 %	Sin precipitación de iones de litio	2,7 %
Ejemplo 4	1,82	18 %	45 %	Ligera precipitación de iones de litio	2,8 %
Ejemplo 5	1,86	20 %	49 %	Ligera precipitación de iones de litio	3,1 %
Ejemplo 6	1,90	23 %	52 %	Precipitación de iones de litio	3,5 %
Ejemplo comparativo 1	1,93	45 %	42 %	Precipitación severa de iones de litio	7,9 %

40

La comparación entre los ejemplos 1-6 y el ejemplo comparativo 1 en la tabla 1 muestra que la densidad compactada del ejemplo comparativo 1 es mucho mayor que el rango de densidad compactada definido en

las reivindicaciones, y la batería está seriamente deformada. Esto se debe a que cuando la densidad compactada es grande, la porosidad disminuye bruscamente, las partículas se disponen en su mayoría en un ángulo paralelo al colector de corriente y los poros entre las partículas se reducen notablemente, lo que resulta en una mala infiltración del electrolito. El área de contacto entre el material y el electrolito se reduce considerablemente, de modo que la intercalación o desintercalación de iones se ve gravemente dificultada, provocando la deposición de iones de litio en la superficie del ánodo, que se manifiesta como una precipitación severa de litio.

5

La tabla 2 muestra la relación entre la orientación del material activo del ánodo y el rendimiento eléctrico de los diferentes materiales del ánodo usados en los ejemplos 7-25 y 27, los ejemplos de referencia 26 y 28 y el ejemplo comparativo 2 a diversas densidades compactadas, donde el tercer El ángulo de inclinación de las terceras partículas orientadas es  $70^\circ < \theta_3 < 90^\circ$ .

10

Tabla 2

	Densidad compactada, g/cm <sup>3</sup>	Proporción de la primera orientación	Proporción de la segunda orientación	Proporción de la tercera orientación	Precipitación de litio a 25 °C	Expansión después del ciclo (500 veces) a 45 °C
Ejemplo 7	1,78	9 %	55 %	3 %	Sin precipitación de litio	1,50 %
Ejemplo 8	1,78	9 %	49 %	7 %	Sin precipitación de litio	1,30 %
Ejemplo 9	1,78	9 %	41 %	15 %	Sin precipitación de litio	1,90 %
Ejemplo 10	1,78	16 %	48 %	1 %	Sin precipitación de litio	1,20 %
Ejemplo 11	1,78	16 %	42 %	7 %	Sin precipitación de litio	1,30 %
Ejemplo 12	1,78	23 %	41 %	1 %	Sin precipitación de litio	1,20 %
Ejemplo 13	1,78	23 %	37 %	5 %	Sin precipitación de litio	1,40 %
Ejemplo 14	1,8	9 %	54 %	7 %	Sin precipitación de litio	1,60 %
Ejemplo 15	1,8	9 %	46 %	15 %	Sin precipitación de litio	2,40 %
Ejemplo 16	1,8	16 %	53 %	1 %	Sin precipitación de litio	1,70 %
Ejemplo 17	1,8	16 %	47 %	7 %	Sin precipitación de litio	2,30 %
Ejemplo 18	1,8	16 %	39 %	15 %	Sin precipitación de litio	2,40 %
Ejemplo 19	1,8	23 %	46 %	1 %	Ligera precipitación de litio	1,80 %
Ejemplo 20	1,8	23 %	40 %	7 %	Ligera precipitación de litio	2,30 %
Ejemplo 21	1,83	9 %	49 %	15 %	Ligera precipitación de litio	2,70 %
Ejemplo 22	1,83	16 %	50 %	7 %	Ligera precipitación de litio	2,30 %

	Densidad compactada, g/cm <sup>3</sup>	Proporción de la primera orientación	Proporción de la segunda orientación	Proporción de la tercera orientación	Precipitación de litio a 25 °C	Expansión después del ciclo (500 veces) a 45 °C
Ejemplo 23	1,83	16 %	42 %	15 %	Ligera precipitación de litio	2,80 %
Ejemplo 24	1,83	23 %	49 %	1 %	Ligera precipitación de litio	2,20 %
Ejemplo 25	1,83	23 %	43 %	7 %	Ligera precipitación de litio	2,60 %
Ejemplo de referencia 26	1,78	26 %	37 %	7 %	Ligera precipitación de litio	3,60 %
Ejemplo 27	1,78	9 %	41 %	20 %	Ligera precipitación de litio	4,40 %
Ejemplo de referencia 28	1,78	32 %	31 %	4 %	Fuerte precipitación de litio	4,10 %
Ejemplo comparativo 2	1,92	44 %	37 %	2 %	Fuerte precipitación de litio	7,70 %

La comparación entre los ejemplos 7-25 y 27, los ejemplos de referencia 26 y 28 y el ejemplo comparativo 2 en la tabla 2 muestra que la densidad compactada del ejemplo comparativo 2 va más allá del rango de densidad compactada definido en las reivindicaciones, y una precipitación severa de litio en el ánodo ocurre. Esto se debe a que la mayoría de las partículas están dispuestas en un ángulo paralelo al colector de corriente, lo que provoca una mala infiltración del electrolito. El área de contacto entre el material y el electrolito se reduce considerablemente, de modo que la intercalación o desintercalación de iones se ve gravemente dificultada, provocando la deposición de iones de litio en la superficie del ánodo, que se manifiesta como una precipitación severa de litio.

Como se muestra en el análisis del ejemplo 13 y el ejemplo de referencia 26, con la misma densidad compactada y proporciones similares de la segunda orientación y la tercera orientación, cuando la proporción de la primera orientación excede el rango definido, se encuentra que en comparación con la distribución de orientación que cae dentro del rango definido en los ejemplos 7-12, es más probable que se produzca precipitación de litio en el ejemplo de referencia 26. Como muestra el análisis del ejemplo 9 y el ejemplo 27, con la misma densidad compactada y las mismas proporciones de la primera orientación y la segunda orientación, aunque el aumento de la tercera orientación puede facilitar la intercalación y desintercalación de iones de litio para reducir la precipitación de litio, la batería es propensa a deformarse cuando la proporción de la tercera orientación excede un rango definido. La precipitación y la deformación del litio se alivian en los ejemplos 7 a 12 que cumplen las condiciones de orientación proporcionadas en la presente solicitud. Esto se debe a que bajo una cierta presión, cuando la distribución de orientación de las partículas cumple el rango definido en las reivindicaciones, se garantiza que se alcanzará la densidad compactada objetivo y mientras tanto el ánodo es isotrópico, de modo que es beneficioso para la infiltración dentro del ánodo. por el electrolito, facilita el transporte de iones de litio y mejora el rendimiento de carga y descarga. Durante el proceso de ciclo de las baterías de iones de litio, debido a que la primera orientación se distribuye en varios ángulos, la tensión generada por los iones de litio durante la intercalación y desintercalación se puede dispersar efectivamente en varios ángulos en lugar de enfocarse en una dirección fija determinada. Esto reduce en gran medida la deformación de la batería causada por la expansión lateral durante el proceso del ciclo.

Como lo muestra el análisis de los ejemplos 7-9, 10-11 y 12-13, bajo la misma densidad compactada, la deformación de la batería empeora a medida que aumenta la proporción de la tercera orientación, pero aún se mantiene en un nivel bajo. Los ejemplos 14-20 y los ejemplos 21-25 muestran el mismo patrón. La razón es la misma que la descrita anteriormente. Cuando aumenta la proporción de la tercera orientación, aumenta la proporción de partículas en las partículas de material activo del ánodo que están en un ángulo de 70° a 90° con respecto a la orientación del colector de corriente. Aunque es beneficioso acortar la ruta de difusión de los iones de litio, la tensión generada por la intercalación y desintercalación de iones de litio se libera principalmente en la dirección paralela al colector de corriente, lo que fácilmente provoca la deformación de la batería.

Las proporciones de las tres orientaciones en el ejemplo 9, ejemplo 15 y ejemplo 19 son similares. A medida

que la proporción de la primera orientación aumenta significativamente, las proporciones de la segunda orientación y la tercera orientación disminuyen significativamente, el grado de precipitación de litio aumenta. Esto puede deberse a que cuando aumenta la fuerza aplicada sobre las partículas, más partículas tienden a alinearse en la dirección del colector de corriente, lo que no favorece la infiltración del electrolito y provoca un riesgo de precipitación de litio exacerbada. Además, cuanto mayor es la presión aplicada a la superficie del ánodo, más grave es la deformación de la batería. Esto se debe a que el aumento en la proporción de la primera orientación hace que la tensión generada por la intercalación y desintercalación de iones de litio se libere principalmente en una dirección perpendicular al colector de corriente, lo que también provoca fácilmente la deformación de la batería.

La tabla 3 proporciona los parámetros relevantes del ejemplo 11, los ejemplos 29-34 y el ejemplo comparativo 3, y el efecto de la distribución del tamaño de partículas de cada orientación sobre la precipitación de litio a 0,7 C/0,5 C a 25 °C, la expansión de la batería después de realizar 500 ciclos a 45°C, y resistencia a corriente continua (DCR) de la batería cuando el ánodo tiene una densidad compactada de 1,78 g/cm<sup>3</sup>, una proporción de la primera orientación del 15 %, una proporción de la segunda orientación del 42 % y una proporción de la tercera orientación del 8 %.

Tabla 3

	Proporción del tamaño de partícula de las primeras partículas orientadas.		Proporción del tamaño de partícula de las segundas partículas orientadas.			Proporción del tamaño de partícula de las partículas de tercera orientación.	Precipitación de litio a 25 °C.	Expansión de la batería después de realizar 500 ciclos a 45 °C (promedio MMC <sub>500</sub> )	DCR/(mΩ)
	<10 μm	10 μm-35 μm	<10 μm	10 μm-35 μm	>35 μm	<10 μm			
Ejemplo 11	85 %	15 %	5,60 %	32,00 %	62,40 %	100 %	Sin precipitación de litio	8,20 %	56
Ejemplo 29	72 %	28 %	4,20 %	35,00 %	60,80 %	100 %	Sin precipitación de litio	8,90 %	55,2
Ejemplo 30	92 %	8 %	4,20 %	35,00 %	60,80 %	100 %	Sin precipitación de litio	7,80 %	55,4
Ejemplo 31	85 %	15 %	3,50 %	30,00 %	66,50 %	100 %	Sin precipitación de litio	8,30 %	56,5
Ejemplo 32	85 %	15 %	4,30 %	22,70 %	73,00 %	100 %	Sin precipitación de litio	8,50 %	56,2
Ejemplo 33	85 %	15 %	4,50 %	41,00 %	54,50 %	100 %	Sin precipitación de litio	7,60 %	56,4
Ejemplo 34	85 %	15 %	4,60 %	42,00 %	53,40 %	100 %	Sin precipitación de litio	7,40 %	56,6
Ejemplo comparativo 3	55 %	45 %	3,50 %	22,70 %	73,80 %	100 %	Ligera precipitación de litio	9,70 %	68,8

Como se muestra en la tabla 3, el análisis del ejemplo 11, los ejemplos 29-34 y el ejemplo comparativo 3 muestran que cuando la proporción de partículas grandes en la primera orientación excede un cierto rango, tanto la expansión del ánodo como la DCR aumentan significativamente. Esto puede deberse a que la mayoría de las partículas de la primera orientación están dispuestas en una dirección paralela al colector de corriente. Si una proporción de partículas grandes es demasiado grande, por un lado se reduce la infiltración del electrolito y, por otro lado, el recorrido de los iones de litio que se intercalan en el grafito se hace más largo debido a la gran proporción de partículas grandes. Como resultado, la DCR aumenta y las partículas más grandes son susceptibles a una tensión mayor que las partículas pequeñas durante la intercalación y desintercalación de los iones de litio, y es más probable que se expandan en la dirección perpendicular al ánodo. por lo que la expansión de la batería aumenta significativamente. El método para medir la porosidad en la sección transversal de la capa de material activo del ánodo es el mismo que el método de muestreo para la prueba de orientación del ánodo. De manera similar, se fotografía la sección transversal del ánodo a través de un microscopio de polarización. Los poros en la sección transversal se cuentan estadísticamente, la

porosidad y las relaciones de área del material activo del ánodo y el aglutinante en la sección transversal se calculan mediante el método del área.

5 La tabla 4 muestra el efecto de la porosidad en la sección transversal de la capa de material activo del ánodo probada a una cierta densidad compactada y una cierta orientación sobre la resistencia a la corriente continua (DCR), la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) y la velocidad de rendimiento de la batería.

Tabla 4

	Porosidad	DCR/(mΩ)	Rct (mΩ)	Tasa/%
Ejemplo 11	25 %	56	5,9	83,90 %
Ejemplo 35	21 %	58,7	7,9	78,60 %
Ejemplo 36	28 %	54,3	5,7	82,40 %
Ejemplo 37	35 %	57,9	6,6	80,60 %
Ejemplo 38	43 %	60,2	8	78,90 %
Ejemplo comparativo 4	15 %	87,5	12,1	63,20 %

10

Se puede encontrar a través del análisis de los ejemplos 11 y 35-38 y el ejemplo comparativo 4 que cuando la porosidad está en el rango de 21 % -43 %, el DCR, Rct y el rendimiento de velocidad mejoran en cierta medida. Esto se debe a que la porosidad en tal rango permite que el electrolito penetre en la superficie de la capa de grafito más fácilmente, de modo que los iones de litio pueden alcanzar directamente la superficie del grafito para completar la intercalación del litio, lo que acorta en gran medida la ruta de transmisión del litio. 15 iones, permite que la película SEI tenga un espesor en un rango adecuado y reduce la pérdida excesiva de iones de litio. Cuando la porosidad es demasiado pequeña, la infiltración por electrolito se reduce y la interfaz formada es inestable debido al contacto demasiado estrecho entre las partículas, de modo que DCR, EIS y el rendimiento de velocidad se deterioran, como se muestra en el ejemplo comparativo 5.

20

La tabla 5 muestra la relación C004/C110 del ánodo antes y después de la carga, la tasa de expansión X/Y del ánodo, la tasa de expansión del ánodo desmontado después de que la batería se carga al 50 % de SOC y la deformación de la batería después de realizar 500 ciclos a 45°C en el ejemplo 11, ejemplos 39-42 y ejemplo comparativo 5.

25

Tabla 5

	C004/C110 antes de la carga	C004/C110 después de la carga	Expansión X/Y del ánodo después de la carga completa	Expansión del ánodo al 50 % SOC	Deformación por sobrecarga al 150 % SOC
Ejemplo 11	17,1	10,22	0,43	15,89 %	1,15 %
Ejemplo 39	19,56	12,37	0,35	16,62 %	0,98 %
Ejemplo 40	21,72	15,36	0,33	16,68 %	0,82 %
Ejemplo 41	23,43	17,77	0,29	17,33 %	0,52 %
Ejemplo 42	26,28	19,35	0,23	18,02 %	0,43 %
Ejemplo comparativo 5	32	23,45	0,17	25,25 %	5,72 %

30

Basado en la investigación anterior, el ejemplo 11, los ejemplos 39-42 y los ejemplos comparativos 5 revelan además los cambios en C004/C110 antes y después de la carga, la expansión del ánodo a lo largo de la dirección X/Y, la tasa de expansión del ánodo desmontado después de que la batería se carga al 50 % SOC y la deformación de la batería al 150 % SOC a 25 °C. La relación C004/C110 se controla dentro de un cierto rango antes y después de la carga. Con el aumento de C004/C110, la tasa de expansión X/Y del ánodo después de la carga completa disminuye. Generalmente se considera que si la tasa de expansión X/Y del ánodo después de la carga completa se controla dentro del 0,5 %, el riesgo de deformación de la batería es pequeño. A 25°C, los datos de deformación después de cargar la batería al 150 % SOC también verifican esta conclusión (la deformación de la batería <3 % está en un rango normal). La relación C004/C110 controlada para que sea ≥17,0 es beneficiosa para controlar la deformación de la batería. Sin embargo, a medida que aumenta C004/C110, también aumenta la expansión del ánodo al 50 % de SOC. Como se muestra en el ejemplo comparativo 5, para mantener la expansión del ánodo en un cierto rango, la relación C004/C110 debe controlarse dentro del rango de ≤27,0.

40

5 La tabla 6 muestra el efecto de la orientación de las partículas del ánodo en el ánodo después de la descarga completa y la porosidad en la sección transversal de la capa de material activo del ánodo probada sobre la resistencia a la corriente continua (DCR), la espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) y el rendimiento de la velocidad. de la batería en el ejemplo 11, ejemplo 36 y ejemplo 37.

Tabla 6

	Proporción de la primera orientación	Proporción de la segunda orientación	Proporción de la tercera orientación	Porosidad	DCR/(mΩ)	RctmΩ	Tasa %
Ejemplo 11	15 %	37 %	16 %	21 %	60.3	7.9	78.6 %
Ejemplo 36	19 %	40 %	11 %	28 %	54.3	5.7	82.4 %
Ejemplo 37	23 %	49 %	8 %	35 %	57.9	6.6	80.6 %

10 Basado en las investigaciones anteriores, el ejemplo 11, el ejemplo 36 y el ejemplo 37 muestran las proporciones de la primera, segunda y tercera partículas orientadas en el ánodo después de la descarga completa.

15 El ejemplo 11, el ejemplo 39 y el ejemplo 42 en la tabla 7 ilustran las proporciones del tamaño de partícula de las partículas orientadas diferentemente en un ánodo después de que el ánodo se desmonta después de descargarse completamente; la tasa de expansión del ánodo desmontado en la relación C004/C110 y 50 % SOC antes y después de la carga; y la deformación de la batería por debajo del 150 % SOC a 25 °C.

Tabla 7

	Proporción de partículas con diferentes tamaños de partícula en las primeras partículas orientadas			Proporción de partículas con diferentes tamaños de partículas en las segundas partículas orientadas			Proporción de partículas con diferentes tamaños de partículas en las partículas de tercera orientación			C004/C110 antes de la carga	C004/C110 después de la carga	Expansión X/Y del ánodo después de la carga completa	Expansión al 50 %SOC	Deformación por sobrecarga al 150 % SOC
	<10 µm	10 µm-35 µm	>35 µm	<10 µm	10 µm-35 µm	>35 µm	<10 µm	10 µm	10 µm					
Ejemplo 11	63.5 %	36.5 %	4.6 %	42.0 %	53.4 %	90.0 %	10 %	17.10	10.22	0.43	15.89 %	1.15 %		
Ejemplo 39	73.5 %	26.5 %	4.2 %	35.0 %	60.8 %	95.0 %	5.0 %	19.56	12.37	0.35	16.62 %	0.98 %		
Ejemplo 42	85.5 %	14.5 %	3.2 %	39.1 %	57.5 %	97.0 %	3.0 %	26.28	19.35	0.23	18.02 %	0.43 %		

Basado en las investigaciones anteriores, el ejemplo 11, el ejemplo 39 y el ejemplo 42 muestran las proporciones de partículas con diferentes tamaños de partícula en las partículas orientadas primera, segunda y tercera en el ánodo después de que la batería está completamente descargada.

- 5 A lo largo de la especificación, las referencias a "realización", "parte de realizaciones", "una realización", "otro ejemplo", "ejemplo", "ejemplo específico" o "parte de ejemplos" significan que al menos una realización o ejemplo de la presente solicitud incluye características, estructuras, materiales o características específicas descritas en la realización o ejemplo. Así, las descripciones aparecen a lo largo de la especificación, tales como "en algunas realizaciones", "en una realización", "en una realización", "en otro ejemplo", "en un ejemplo", "en un ejemplo particular" o "para ejemplo", no son necesariamente la misma realización o ejemplo en la solicitud. Además, las características, estructuras, materiales o características específicas de las descripciones se pueden combinar de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones o ejemplos.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Ánodo de batería de iones de litio, que comprende un colector de corriente y una capa de material activo del ánodo sobre el colector de corriente; **caracterizado por que,**  
 5 la capa de material activo del ánodo comprende primeras partículas orientadas que tienen un primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  inclinado con respecto a una dirección del colector de corriente, y segundas partículas orientadas que tienen un segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente, en el que el primer ángulo de inclinación  $\theta_1$  y el segundo ángulo de inclinación  $\theta_2$  son diferentes y ambos no son mayores que  $70^\circ$ , en el que las primeras partículas orientadas cumplen las condiciones (a) y (b):  
 10 (a)  $0^\circ < \theta_1 \leq 20^\circ$ ,  $20^\circ < \theta_2 < 70^\circ$ ;  
 (b) un área de las primeras partículas orientadas es del 9 % al 23 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.
- 15 2. Ánodo de batería de iones de litio, según la reivindicación 1, **caracterizado por que** las primeras partículas orientadas cumplen al menos una de las condiciones (c) a (d):  
 (c) en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a  $10 \mu\text{m}$  representan del 71,0 % al 93,0 %; y  
 20 (d) en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula entre  $10 \mu\text{m}$  y  $35 \mu\text{m}$  representan del 7,0 % al 29,0 %.
3. Ánodo de batería de iones de litio, según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** las segundas partículas orientadas tienen una relación de área con respecto al área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo mayor que la de las primeras partículas orientadas.  
 25
4. Ánodo de batería de iones de litio, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** una fracción de área de las segundas partículas orientadas es del 37 % al 55 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.  
 30
5. Ánodo de batería de iones de litio, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que,** en las segundas partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula entre  $10 \mu\text{m}$  y  $35 \mu\text{m}$  representan del 22,0 % al 41,0 % y las partículas que tienen un tamaño de partícula menor de  $10 \mu\text{m}$  representan entre el 3,5 % y el 5,6 %.  
 35
6. Ánodo de batería de iones de litio, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la capa de material activo del ánodo comprende además terceras partículas orientadas que tienen un tercer ángulo de inclinación  $\theta_3$  inclinado con respecto a la dirección del colector de corriente, en el que  $70^\circ < \theta_3 < 90^\circ$ , y un área de las terceras partículas orientadas es 1,0 %-15,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.  
 40
7. Ánodo de batería de iones de litio, según la reivindicación 6, **caracterizado por que,** en las terceras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a  $10 \mu\text{m}$  representan el 90,0 % o más.  
 45
8. Ánodo de batería de iones de litio, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** la capa de material activo del ánodo incluye una pluralidad de poros, y un área de la pluralidad de poros es del 21,0 %-43,0 % de un área de sección transversal de la capa de material activo del ánodo.
- 50 9. Ánodo de batería de iones de litio, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** la capa de material activo del ánodo tiene una relación C004/C110 de 17,0-27,0.
10. Ánodo de batería de iones de litio, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** la capa de material activo del ánodo tiene un espesor de  $90 \mu\text{m}$  -  $143 \mu\text{m}$ , y el ánodo tiene una densidad compactada de  $1,70 \text{ g/cm}^3$ - $1,90 \text{ g/cm}^3$ .  
 55
11. Batería de iones de litio, **caracterizada por que** comprende un ánodo de batería de iones de litio según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 60 12. Batería de iones de litio, según la reivindicación 11, **caracterizada por que,** después que la batería de iones de litio está completamente cargada y desmontada, la capa de material activo del ánodo tiene una relación C004/C110 de 10,22-19,35.
- 65 13. Batería de iones de litio, según la reivindicación 11, **caracterizada por que,** después de descargar y desmontar completamente la batería de iones de litio, el ánodo cumple al menos una de las condiciones (1) a (3):

(1) un área de las primeras partículas orientadas es 11,0 %-25,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo;

(2) un área de las segundas partículas orientadas es del 29,0 % al 51,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo; o

5 (3) un área de las terceras partículas orientadas es del 5,0 % al 19,0 % del área de la sección transversal de la capa de material activo del ánodo.

14. Batería de iones de litio, según la reivindicación 11, **caracterizada por que**, después de descargar y desmontar completamente la batería de iones de litio, el ánodo cumple al menos una de las condiciones (4) a (6):

10 (4) en las primeras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula de menos de 10  $\mu\text{m}$  representan del 62,5 % al 87,7 %, y las partículas que tienen un tamaño de partícula de 10  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$  representan del 12,3 % al 37,5 %;

15 (5) en las segundas partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula de menos de 10  $\mu\text{m}$  representan del 2,1 % al 3,9 %, las partículas que tienen un tamaño de partícula de 10  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$  representan del 21,5 % al 40,2 %, y las partículas que tienen un tamaño de partícula de mayores de 35  $\mu\text{m}$  representan del 55,9 % al 76,4 %; o

20 (6) en las terceras partículas orientadas, las partículas que tienen un tamaño de partícula inferior a 10  $\mu\text{m}$  representan el 90,0 % o más.

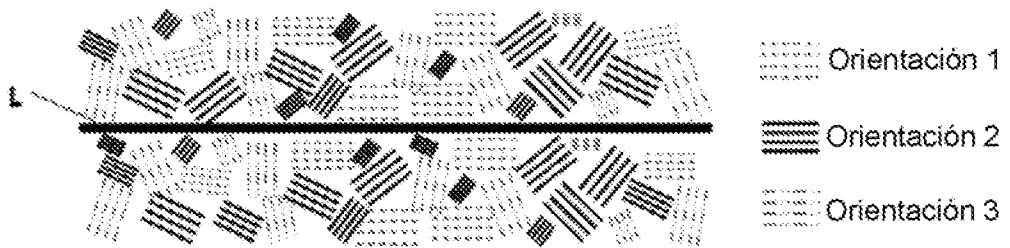


FIG. 1

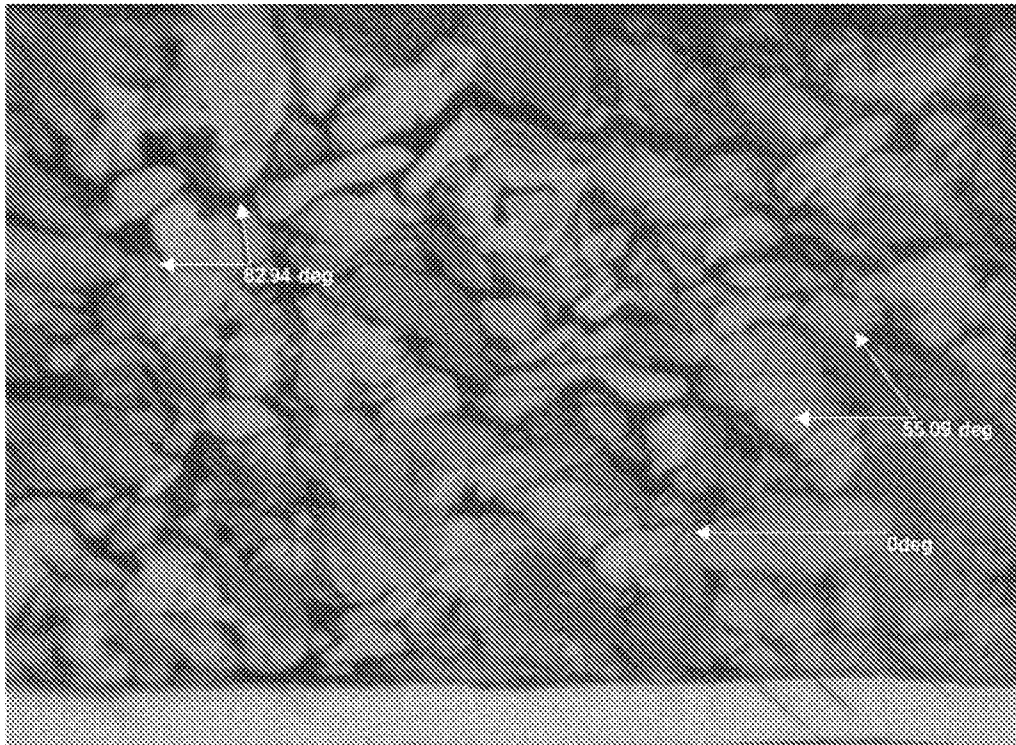


FIG. 2