

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 835 880**

51 Int. Cl.:

H01G 11/86	(2013.01) H01M 10/0525	(2010.01)
H01G 11/38	(2013.01) H01M 4/133	(2010.01)
H01G 11/30	(2013.01) H01M 4/1393	(2010.01)
H01M 4/04	(2006.01) H01M 4/587	(2010.01)
H01M 4/62	(2006.01) H01M 4/96	(2006.01)
H01M 4/139	(2010.01)	
H01M 4/86	(2006.01)	
H01M 4/88	(2006.01)	
H01G 9/04	(2006.01)	
H01G 11/22	(2013.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.03.2015 PCT/US2015/019477**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.09.2015 WO15138333**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2015 E 15711015 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.09.2020 EP 3117473**

54 Título: **Métodos y aparatos para la fibrilación de polímeros bajo un campo eléctrico**

30 Prioridad:

10.03.2014 US 201461950699 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.06.2021

73 Titular/es:

**MAXWELL TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
3888 Calle Fortunada
San Diego, CA 92123, US**

72 Inventor/es:

**HONG, JIAN y
XI, XIAOMEI**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 835 880 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

Métodos y aparatos para la fibrilación de polímeros bajo un campo eléctrico

5 Referencia a solicitudes relacionadas

Antecedentes

Campo

10 La presente invención se refiere a dispositivos de almacenamiento de energía, particularmente a métodos y aparatos para fabricar películas de partículas secas para su uso en dispositivos de almacenamiento de energía.

Descripción de la técnica relacionada

15 Hay muchos tipos diferentes de dispositivos de almacenamiento de energía que se utilizan para dar energía dispositivos electrónicos, incluidos, por ejemplo, condensadores, como por ejemplo ultracondensadores o condensadores de iones de litio, baterías, como baterías de iones de litio y pilas de combustible. Un dispositivo de almacenamiento de energía puede incluir una o más películas, como una película de electrodo que forma un electrodo del dispositivo de almacenamiento de energía. La película de electrodo puede comprender uno o más materiales activos. La película puede incluir un componente aglutinante fibrilado, proporcionando el componente aglutinante fibrilado una pluralidad de fibrillas que pueden soportar uno o más componentes de la película (por ejemplo, proporcionando una estructura mecánica para la película).

25 La fibrilación de componentes aglutinantes para películas de electrodos habitualmente se puede realizar usando un proceso de fibrilación mecánico. Los componentes de la película de electrodo, incluido el componente aglutinante de la película de electrodo, se pueden combinar y mezclar en un aparato, como una mezcladora y/o un molino de chorro en el que se puede aplicar una fuerza de cizallamiento fuerte sobre el componente aglutinante para manipular el componente aglutinante para formar fibrillas. La fibrilación del componente aglutinante puede facilitar la formación de una matriz, red y/o banda de fibrillas en la que se pueden soportar uno o más componentes de una película de electrodo, tal como un material de electrodo activo. Las fibrillas de un componente aglutinante pueden proporcionar la resistencia mecánica deseada para una película de electrodo. Por ejemplo, las fibrillas pueden proporcionar películas que tengan la resistencia deseada a una tensión de tracción, cizallamiento, compresión y/o torsión, lo que facilita la fabricación de dispositivos de almacenamiento de energía que tienen películas de electrodos de partículas secas. La patente US2011/165466 desvela un método de electrohilado para fibrilar un material aglutinante.

Sumario

40 La primera realización incluye un método para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo. Esta realización incluye proporcionar un componente aglutinante fibrilable cargado negativamente y fibrilar el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente aplicando un campo eléctrico sobre el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente.

45 En esta realización, aplicar el campo eléctrico incluye aplicar un campo electrostático.

En esta realización, proporcionar el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente incluye poner en contacto un componente aglutinante fibrilable con un donador de electrones.

50 En algunas realizaciones, poner en contacto el componente aglutinante fibrilable con el donador de electrones puede incluir aplicar una fuerza acústica sobre el componente aglutinante fibrilable. El donador de electrones de la primera realización incluye un recipiente de mezcla de un aparato de fibrilación, donde el recipiente de mezcla está fabricado de un material que tiene afinidad para donar electrones al componente aglutinante fibrilable. En la primera realización, poner en contacto el componente aglutinante fibrilable con el donador de electrones incluye aplicar al menos una fuerza lineal y una fuerza rotacional sobre el recipiente de mezcla para desplazar el recipiente de mezcla con respecto al componente aglutinante fibrilable.

En algunas realizaciones, proporcionar el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente puede incluir poner en contacto el componente aglutinante fibrilable con un medio de mezcla.

60 En algunas realizaciones, el método además puede incluir secar el componente aglutinante fibrilable antes de aplicar el campo eléctrico sobre el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente. El secado del componente aglutinante fibrilable puede incluir calentar el componente aglutinante fibrilable en un horno de vacío.

65 En algunas realizaciones, el componente aglutinante fibrilable puede incluir politetrafluoroetileno.

Otra realización incluye un sistema para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo. Esta

realización incluye un recipiente de mezcla que incluye un material que tiene afinidad para donar uno o más electrones al componente aglutinante, y un accionador configurado para aplicar una fuerza sobre el recipiente de mezcla para poner en contacto el recipiente de mezcla con el componente de aglutinante y mover el recipiente de mezcla y el componente aglutinante uno respecto al otro a una velocidad y rango de movimiento suficientes para crear una fuerza electrostática sobre el componente aglutinante y fibrilar el componente aglutinante.

En algunas realizaciones, el sistema además puede incluir el componente aglutinante y un medio de mezcla con un material que tiene afinidad para transferir carga negativa desde el recipiente de mezcla al componente aglutinante. El medio de mezcla puede incluir un mismo material que el componente aglutinante. En algunas realizaciones, el medio de mezcla y el componente aglutinante comprenden politetrafluoroetileno.

En algunas realizaciones, el accionador además está configurado para aplicar una fuerza sobre el recipiente de mezcla para que entre en contacto con el medio de mezcla con al menos uno del recipiente de mezcla y el componente aglutinante.

En algunas realizaciones, el accionador está configurado para aplicar una fuerza acústica al componente aglutinante. En algunas realizaciones, el accionador está configurado para aplicar al menos una fuerza lineal y una fuerza de rotación sobre el recipiente de mezcla.

En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla puede estar fabricado de un material de aluminio. En algunas realizaciones, el medio de mezcla puede incluir un mismo material que el recipiente de mezcla, como el material de aluminio.

En algunas realizaciones, el sistema además puede incluir un mezclador para combinar el componente aglutinante con uno o más de otros componentes de la película de electrodo. El sistema puede incluir un mezclador de bajo cizallamiento para combinar el componente aglutinante con uno o más de otros componentes de la mezcla de película de electrodo. En algunas realizaciones, el sistema además puede incluir un horno para secar el componente aglutinante y uno o más de los otros componentes de la película de electrodo.

Otra realización incluye un sistema que tiene un generador de campo eléctrico, un recipiente y un componente aglutinante fibrilable. El generador de campo eléctrico está configurado para aplicar un campo eléctrico al componente aglutinante fibrilable y fibrilar el componente aglutinante fibrilable con el campo eléctrico cuando el componente aglutinante fibrilable está contenido dentro del recipiente.

Con el propósito de resumir la invención y las ventajas logradas sobre la técnica anterior, en el presente documento se describen ciertos objetos y ventajas. Por supuesto, debe entenderse que no necesariamente todos estos objetos o ventajas deben lograrse de acuerdo con una realización particular. Así, por ejemplo, los expertos en la técnica reconocerán que la invención puede realizarse o llevarse a cabo de una manera que pueda lograr u optimizar una ventaja o un grupo de ventajas sin lograr necesariamente otros objetivos o ventajas.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente divulgación se describen con referencia a los dibujos de ciertas realizaciones, que pretenden ilustrar ciertas realizaciones y no limitar la invención.

La Figura 1 muestra una vista en sección transversal de un ejemplo de un dispositivo de almacenamiento de energía que incluye una película de electrodo en una superficie de un colector de corriente.

La Figura 2 muestra una vista esquemática de un ejemplo de un aparato para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo bajo un campo eléctrico.

La Figura 3 muestra una vista en perspectiva de otro ejemplo de un aparato para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo bajo un campo eléctrico.

La Figura 4 muestra un ejemplo de un proceso para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo.

La Figura 5 muestra un ejemplo de un proceso para fabricar una película de electrodo que incluye un componente aglutinante fibrilado.

La Figura 6A muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 5k ×, de una película de electrodo.

La Figura 6B muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 1k ×, de la película de electrodo que se muestra en la Figura 6A.

La Figura 7A muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 5k ×, de una película de electrodo.

La Figura 7B muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 1k ×, de la película de electrodo que se muestra en la Figura 7A.

La Figura 8A muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 5k ×, de una película de electrodo.

La Figura 8B muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 1k ×, de la película de electrodo que se muestra en la Figura 8A.

La Figura 9A muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 5k ×, de una película de electrodo.

La Figura 9B muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido (SEM), con un aumento de 1k ×, de la película de electrodo que se muestra en la Figura 9A.

5

Descripción detallada

Como se describe en el presente documento, los procesos mecánicos de fibrilación del aglutinante pueden incluir la aplicación de altas fuerzas de cizallamiento sobre el aglutinante. Sin embargo, los procesos de fibrilación mecánica en los que se aplican altas fuerzas de cizallamiento pueden dañar algún componente de material activo de la mezcla de película de electrodo. Por ejemplo, pueden modificarse indeseablemente una o más propiedades superficiales de un componente de material activo, como un componente de carbono de la mezcla de película de electrodo, por la alta fuerza de cizallamiento, disminuyendo alguna propiedad química y/o eléctrica del componente de material activo. La mezcla de los componentes de la película de electrodo en un mezclador bajo una alta fuerza de cizallamiento también puede contribuir al calentamiento local de los componentes de la película de electrodo en el mezclador. Dicho calentamiento además puede contribuir a la disminución de las propiedades químicas y/o eléctricas de uno o más componentes de material activo de la película de electrodo y/o puede proporcionar una fibrilación ineficaz y/o no uniforme del componente aglutinante.

10

15

20

25

30

Una realización incluye un método para fabricar una película de electrodo que incluye la fibrilación de un componente aglutinante usando un campo eléctrico. Un componente aglutinante fibrilable cargado negativamente se somete a un campo eléctrico, de manera que el componente aglutinante cargado negativamente es manipulado por el campo eléctrico para lograr la fibrilación del componente aglutinante. Se coloca una carga negativa sobre un componente aglutinante para proporcionar el componente aglutinante cargado negativamente. El componente aglutinante está fabricado de un material que tiene afinidad para recibir uno o más electrones (es decir, un aceptor de electrones) de un material que tiene afinidad para donar uno o más electrones al componente aglutinante (es decir, un donador de electrones). Los componentes aglutinantes adecuados pueden estar fabricados de un material que tenga una constante dieléctrica alta, tales como polietileno (PE) y/o politetrafluoroetileno (PTFE). El material adecuado para un donador de electrones puede incluir, por ejemplo, aluminio. El componente aglutinante contacta con el donador de electrones para transferir la carga negativa del donador de electrones al componente aglutinante.

35

40

45

50

El campo eléctrico es un campo electrostático. Un aparato para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo está configurado para generar un campo electrostático. El aparato de fibrilación está configurado para colocar una o más cargas negativas sobre el componente aglutinante, de manera que el componente aglutinante pueda manipularse mediante el campo electrostático y el componente aglutinante pueda fibrilar. El aparato de fibrilación incluye un recipiente de mezcla para proporcionar una carga negativa al componente aglutinante. En algunas realizaciones, el aparato de fibrilación puede incluir un medio de mezcla para facilitar la transferencia de carga entre el recipiente de mezcla y el componente aglutinante. En algunas realizaciones, el medio de mezcla puede proporcionar una carga negativa al componente aglutinante. El contacto entre el medio de mezcla, el recipiente de mezcla, y/o el componente aglutinante de la película de electrodo puede facilitar la transferencia de electrones desde el recipiente de mezcla y/o el medio de mezcla al componente aglutinante de electrodo, y/o la generación del campo electrostático. El movimiento del recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo uno respecto al otro puede facilitar la transferencia de electrones y la generación del campo electrostático. Dicho contacto y/o movimiento puede facilitarse aplicando fuerza al recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo, incluyendo la mezcla de película de electrodo que comprende el componente aglutinante de la película de electrodo. Por ejemplo, el aparato para fibrilar un componente aglutinante puede configurarse para generar un campo electrostático y exponer un componente aglutinante que comprende politetrafluoroetileno (PTFE) al campo electrostático de manera que se pueda lograr la fibrilación del componente aglutinante de PTFE.

55

60

En algunas realizaciones, un proceso de fibrilación que utiliza un campo eléctrico puede facilitar un proceso en el que se aplica una fuerza de cizallamiento reducida sobre uno o más componentes de una película de electrodo. Las fuerzas de cizallamiento aplicadas sobre los componentes de la película de un electrodo pueden disminuir significativamente en un proceso de fibrilación de campo electrostático. En algunas realizaciones, un proceso de fibrilación de campo electrostático puede facilitar un proceso en el que se aplica una fuerza de cizallamiento insignificante a los componentes de una película de electrodo. En algunas realizaciones, la reducción de la fuerza de cizallamiento puede facilitar un menor daño a uno o más componentes de la película de electrodo, por ejemplo en relación con un proceso de fibrilación convencional basado en cizallamiento. Por ejemplo, pueden mantenerse las características electroquímicas de un componente de material activo dentro de la mezcla de electrodos, como el carbono activado, cuando se usa un proceso de fibrilación de campo electrostático, en relación con las características antes de la fibrilación del componente aglutinante dentro de la mezcla. En algunas realizaciones, un proceso de fibrilación electrostática puede facilitar una fibrilación eficaz mientras se mantiene la integridad física y/o electroquímica de los componentes del material activo de la película de electrodo.

65

En algunas realizaciones, los dispositivos de almacenamiento de energía, que incluyen ultracondensadores, baterías y/o dispositivos de almacenamiento de energía basados en litio, como por ejemplo, condensadores de iones de litio

y/o baterías de iones de litio, pueden tener películas de electrodos fabricadas de un componente aglutinante fibrilable que se fibrila mediante un proceso de fibrilación electrostática. En algunas realizaciones, mantener una o más características electroquímicas de un componente de material activo dentro de la mezcla de electrodos puede ser particularmente ventajoso para dispositivos de almacenamiento de energía que tienen rendimientos eléctricos que son

5 más sensibles a la integridad de los componentes de material activo. En algunas realizaciones, mantener una o más características electroquímicas de un componente de material activo dentro de la mezcla de electrodos puede ser particularmente ventajoso para las baterías, incluidas las baterías de iones de litio.

En algunas realizaciones, la fibrilación de componentes aglutinantes utilizando un campo eléctrico puede integrarse ventajosamente en uno o más procesos secos para fabricar películas de electrodos. Como se usa en este documento, los procesos secos pueden referirse a uno o más procesos de fabricación de electrodos realizados en ausencia o sustancialmente en ausencia de disolventes, incluyendo procesos en los que solo se usan o sustancialmente solo se usan partículas secas. En algunas realizaciones, la fibrilación de los componentes del aglutinante utilizando un campo eléctrico se puede integrar en un proceso seco para fabricar una película de electrodo para proporcionar una película

15 de partículas secas sueltas.

El uso de un campo eléctrico, como un campo electrostático, para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo puede facilitar ventajosamente un proceso de fibrilación más eficaz. Por ejemplo, un proceso de fibrilación electrostática puede proporcionar un mayor número de fibrillas a partir de una cantidad de material aglutinante, una mayor uniformidad en las fibrillas formadas y/o una resistencia mecánica mejorada de las fibrillas formadas, en comparación con un proceso de fibrilación convencional basado en cizallamiento.

20

La fibrilación usando un campo eléctrico, como la fibrilación electrostática, puede facilitar hasta aproximadamente un 5 % de reducción en peso del material aglutinante usado, incluida una reducción de aproximadamente el 2 % en peso del material aglutinante usado, en relación con un proceso de fibrilación convencional basado en cizallamiento. El contenido reducido de aglutinante y/o la integridad electroquímica mejorada de un componente de material activo pueden facilitar el rendimiento eléctrico mejorado de la película de electrodo (por ejemplo, mejorar la resistencia en serie equivalente del dispositivo, RES, rendimiento) en relación con una película de electrodo formada mediante un proceso de fibrilación convencional basado en cizallamiento. En algunas realizaciones, un ultracondensador que comprende películas de electrodos fabricadas utilizando un campo eléctrico, como fibrilación electrostática, puede demostrar hasta aproximadamente un 25 % de reducción en la RES en comparación con un ultracondensador que comprende películas de electrodos fabricadas usando un proceso de fibrilación convencional basado en cizallamiento. En algunas realizaciones, un dispositivo de almacenamiento de energía que incluye una o más películas de electrodos fabricadas de un componente aglutinante fibrilado usando un campo eléctrico, tal como un proceso de fibrilación electrostática, puede tener de al menos aproximadamente un 10 % a aproximadamente un 20 % de mejora en potencia y/o rendimiento energético en relación con un dispositivo de almacenamiento de energía preparado en condiciones similares usando un proceso de fibrilación convencional basado en cizallamiento.

25

La Figura 1 muestra un ejemplo de un dispositivo de almacenamiento de energía 100. El dispositivo de almacenamiento de energía 100 puede incluir un ultracondensador y/o una batería. El dispositivo de almacenamiento de energía 100 puede incluir un primer electrodo 102, un segundo electrodo 104 y un separador 106 colocado entre el primer electrodo 102 y el segundo electrodo 104. El separador puede configurarse para aislar eléctricamente dos electrodos adyacentes a lados opuestos del separador, tal como el primer electrodo 102 y el segundo electrodo 104, mientras que permite la comunicación iónica entre los dos electrodos adyacentes. El separador 106 puede estar fabricado de varios materiales porosos eléctricamente aislantes. En algunas realizaciones, el separador 106 puede estar fabricado de un material polimérico. Por ejemplo, el separador 106 puede estar fabricado de un material celulósico (por ejemplo, papel) y/o un material de polipropileno.

40

En algunas realizaciones, el primer electrodo 102 y/o el segundo electrodo 104 pueden incluir un primer colector de corriente 108 y un segundo colector de corriente 110, respectivamente, para facilitar el acoplamiento eléctrico entre el electrodo correspondiente y un circuito externo. El primer colector de corriente 108 y/o el segundo colector de corriente 110 pueden estar fabricados de cualquier combinación de varios materiales conductores de electricidad adecuados. El primer colector de corriente 108 y/o el segundo colector de corriente 110 pueden tener varias formas y/o tamaños adecuados para facilitar la transferencia de cargas eléctricas entre el electrodo correspondiente y un terminal externo, como por ejemplo, un terminal de un circuito eléctrico externo. Por ejemplo, un colector de corriente puede incluir un material metálico, como un material de aluminio, níquel, cobre y/o plata. Por ejemplo, el primer colector de corriente 108 y/o el segundo colector de corriente 110 pueden incluir una hoja de aluminio que tiene una forma rectangular o sustancialmente rectangular.

50

En referencia a la Figura 1, el primer electrodo 102 y el segundo electrodo 104 pueden incluir películas de electrodos 112, 114 y 116, 118 en una primera superficie y una segunda superficie opuesta de los colectores de corriente 108, 110 del electrodo, respectivamente. Las películas de electrodos 112, 114, 116 y/o 118 pueden tener varias formas, tamaños y/o espesores adecuados. Por ejemplo, una película de electrodo puede tener un espesor de aproximadamente 100 micrómetros a aproximadamente 250 micrómetros.

60

En algunas realizaciones, una o más de las películas de electrodos 112, 114, 116 y 118 se pueden fabricar a partir de

65

una mezcla de película de electrodo que comprende una pluralidad de partículas secas. En algunas realizaciones, una o más de las películas de electrodos 112, 114, 116 y 118 se pueden fabricar a partir de una mezcla de película de electrodo que comprende uno o más componentes electroactivos a base de carbono (es decir, "carbono activo"), que incluye, por ejemplo, un material de carbono poroso, tal como carbono activado (por ejemplo, disponible en el mercado en Kuraray Chemical Co., LTD., de Osaka, Japón). En algunas realizaciones, una mezcla de película de electrodo puede incluir grafito, carbono blando y/o carbono duro. En algunas realizaciones, una mezcla de película de electrodo puede incluir uno o más aditivos, incluyendo, por ejemplo, uno o más aditivos para mejorar la conductividad eléctrica de la película de electrodo (es decir, "carbono conductor"). Por ejemplo, una mezcla de película de electrodo puede incluir un componente de carbono conductor, tal como negro de humo conductor (por ejemplo, Super P® disponible en el mercado en Timcal Graphite & Carbon, de Bodio, Suiza).

La mezcla de película de electrodo puede incluir uno o más aditivos para mejorar la integridad estructural de la película de electrodo, como un componente aglutinante. En algunas realizaciones, los componentes aglutinantes pueden incluir uno o más de varios polímeros que tienen una constante dieléctrica aumentada. En algunas realizaciones, el polietileno (PE) puede ser adecuado, incluido el polietileno de peso molecular ultraalto (UHMWPE). En algunas realizaciones, es adecuado el politetrafluoroetileno (PTFE). Los polímeros capaces de recibir uno o más electrones de un donador de electrones pueden ser un aglutinante adecuado. Los componentes aglutinantes pueden ser aglutinantes fibrilables. Por ejemplo, una o más películas de electrodos 112, 114, 116, 118 pueden incluir un componente aglutinante fibrilado fabricado de un componente aglutinante fibrilable que se ha fibrilado usando un campo eléctrico, tal como un proceso de fibrilación electrostática. Como se usa en este documento, un componente aglutinante fibrilado se puede distinguir estructuralmente de un componente aglutinante fibrilable por una persona experta en la técnica usando aparatos y métodos científicos disponibles, tales como mediante la observación del tamaño y/o número de fibrillas.

La composición de las películas de electrodos 112, 114, 116 y/o 118 se puede seleccionar para permitir una capacitancia de electrodo y/o un rendimiento de resistencia deseados. En algunas realizaciones, una o más de las películas de electrodos 112, 114, 116 y 118 pueden estar fabricadas de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 99 % en peso (por ejemplo, incluyendo de aproximadamente el 85 % a aproximadamente el 90 % en peso) de carbono activado, hasta aproximadamente el 20 % en peso (por ejemplo, incluyendo de aproximadamente el 0,5 % a aproximadamente el 15 % en peso, incluido de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 10 % en peso) de material aglutinante, y hasta aproximadamente el 25 % (por ejemplo, incluyendo de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 10 %) en peso de material promotor de la conductividad eléctrica.

En una realización, una mezcla de película de electrodo puede incluir de aproximadamente 70 gramos a aproximadamente 100 gramos (por ejemplo, aproximadamente 90 gramos) de carbono activado, hasta de aproximadamente 5 gramos de un componente aditivo de carbono conductor (por ejemplo, aproximadamente 2 gramos de un material de negro de humo conductor). La mezcla de película de electrodo puede incluir politetrafluoroetileno (PTFE) como componente aglutinante. Por ejemplo, la mezcla de película de electrodo puede incluir de aproximadamente un 5 % en peso a aproximadamente un 10 % en peso del componente aglutinante.

En algunas realizaciones, uno o más de los electrodos 102, 104 se pueden fabricar usando un método de procesamiento de electrodo seco. En el procesamiento en seco, por ejemplo, se puede mezclar una mezcla de película de electrodo que comprende componentes de la película de electrodo (por ejemplo, material electroactivo, material promotor de la conductividad eléctrica y/o material aglutinante) para formar una mezcla. En algunas realizaciones, la mezcla combinada se comprime para formar una estructura similar a una película, como las películas de electrodos 112, 114, 116 y 118. En algunas realizaciones, las películas de electrodos 112, 114, 116, 118 se pueden calandrar sobre la superficie del colector de corriente correspondiente.

La formación de una o más de las películas de electrodos 112, 114, 116 y 118 habitualmente también puede incluir la fibrilación del componente aglutinante. Por ejemplo, la fibrilación del componente aglutinante puede formar fibrillas, por ejemplo, una red de fibrillas, que puede proporcionar una estructura en forma de matriz para soportar uno o más de otros componentes de la película de electrodo, como carbono activado y/o negro de humo conductor.

Puede utilizarse un campo eléctrico para facilitar la fibrilación de un componente aglutinante de la película de electrodo. Como se describe en el presente documento, un componente aglutinante adecuado puede incluir uno o más polímeros que tengan afinidad para recibir uno o más electrones de un donador de electrones. Por ejemplo, un polímero adecuado para el componente aglutinante puede tener una constante dieléctrica aumentada, o un polímero capaz de aceptar fácilmente uno o más electrones de un donador de electrones. El campo eléctrico se puede utilizar para aplicar una fuerza sobre el componente aglutinante que lleva una o más cargas negativas (por ejemplo, un componente aglutinante que ha recibido uno o más electrones de un donador de electrones), para facilitar la fibrilación del componente aglutinante.

Como se describe adicionalmente en el presente documento, las propiedades eléctricas, químicas y/o mecánicas del carbono activo y/o del carbono conductor pueden alterarse indeseablemente cuando se somete a un proceso de alto cizallamiento convencional, como el molido por chorro o la mezcla, en relación con las propiedades de estos materiales cuando se someten a los procesos de campo eléctrico descritos en el presente documento. Por ejemplo, cuando el carbono activo y/o el carbono conductor se mezclan con un aglutinante fibrilable y se someten a un proceso de

fibrilación de alto cizallamiento para fibrilar el aglutinante, el carbono activo y/o el carbono conductor pueden alterarse indeseablemente, dando como resultado un menor rendimiento de la película de electrodo formada a partir de estos componentes. Dicha reducción en el rendimiento se reduce o elimina cuando se combinan los mismos componentes del electrodo, pero el aglutinante se fibrila en su lugar a través de un campo eléctrico, como a través de un proceso de fibrilación electrostática. Además, el aglutinante fibrilable se puede fibrilar de forma más eficaz en un campo eléctrico, en comparación con un proceso convencional de alto cizallamiento, lo que da como resultado un electrodo más eficaz con un uso reducido de aglutinante.

La Figura 2 es una vista esquemática de un ejemplo de un aparato, tal como un generador de campo eléctrico 150 configurado para aplicar un campo eléctrico, tal como un campo electrostático u otro campo eléctrico, a una pluralidad de partículas cargadas, tales como partículas aglutinantes fibrilables 158. El aparato 150 puede incluir una primera parte 152 cargada y una segunda parte 154 cargada de manera opuesta. Por ejemplo, la primera parte 152 cargada puede tener una carga positiva y la segunda parte 154 cargada puede tener una carga negativa. Como indica la flecha 156, se puede proporcionar un campo eléctrico que se extiende desde la parte 152 cargada positivamente hasta la parte 154 cargada negativamente, tal como entre las dos partes cargadas 152, 154. El campo eléctrico proporcionado por la parte 152 cargada positivamente y la parte 154 cargada negativamente puede ejercer una fuerza eléctrica, tal como una fuerza electrostática, sobre partículas cargadas 158 expuestas al campo eléctrico. Las propiedades químicas, eléctricas y/o mecánicas de las partículas 158 cargadas pueden cambiar cuando se exponen al campo eléctrico. Por ejemplo, las partículas 158 cargadas pueden fibrilarse por la fuerza ejercida sobre las partículas 158 por el campo eléctrico proporcionado entre la primera parte 152 cargada y la segunda parte 154 con carga opuesta.

Las partículas de aglutinante 158 cargadas pueden tener una carga negativa. Como se describe en el presente documento, las partículas de aglutinante 158 pueden adquirir una carga negativa al aceptar uno o más electrones de un donador de electrones. Por ejemplo, el campo eléctrico generado por las partes cargadas 152, 154 del aparato 150 puede ejercer una fuerza sobre las partículas de aglutinante cargadas negativamente para fibrilar las partículas de aglutinante. En algunas realizaciones, como se describirá con más detalles en este documento, un recipiente de mezcla puede comprender la primera parte 152 cargada, y un medio de mezcla puede comprender la segunda parte 154 cargada. Por ejemplo, el recipiente de mezcla puede donar uno o más electrones al medio de mezcla, el recipiente de mezcla adquiere así una carga positiva y el medio de mezcla adquiere una carga negativa. Un campo eléctrico, como un campo electrostático, puede ser generado por el recipiente de mezcla con carga positiva y el medio de mezcla con carga negativa. Sin estar limitado por ninguna teoría o modo de funcionamiento particular, la fuerza ejercida sobre una o más partículas de aglutinante cargadas negativamente por el campo eléctrico generado puede cambiar sus propiedades, por ejemplo, y fibrilar de ese modo las partículas de aglutinante. En algunas realizaciones, las partículas de aglutinante cargadas negativamente dentro del recipiente de mezcla pueden contribuir al campo eléctrico que ejerce fuerza sobre las partículas de aglutinante cargadas para fibrilar las partículas de aglutinante.

La Figura 3 muestra un ejemplo de un aparato de fibrilación 200 para fibrilar un componente aglutinante de la película de electrodo. El aparato de fibrilación 200 puede incluir un recipiente de mezcla 202 con un volumen interno configurado para recibir una mezcla de película de electrodo 206, que incluye un componente aglutinante. En algunas realizaciones, el aparato 200 puede incluir un medio de mezcla 204, para facilitar el mezclado de la mezcla de película de electrodo 206 y la fibrilación del componente aglutinante dentro de la mezcla 206. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 y la mezcla de película de electrodo 206 pueden mezclarse mientras se recibe en el volumen interno para lograr la fibrilación del componente aglutinante dentro de la mezcla 206.

El volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede tener varias formas y/o tamaños adecuados para contener el medio de mezcla 204 y/o la mezcla de película de electrodo 206. En algunas realizaciones, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede tener una forma cilíndrica o forma sustancialmente cilíndrica. En algunas realizaciones, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede tener una forma esférica o sustancialmente esférica. En algunas realizaciones, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede comprender una forma configurada para facilitar un mayor contacto de superficie para poner en contacto uno o más componentes dentro del recipiente de mezcla 202, y/o facilitar el contacto entre estos componentes y el propio recipiente 202. Por ejemplo, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede comprender una forma configurada para proporcionar el área específica deseada para el contacto entre el medio de mezcla 204 y/o la mezcla de película de electrodo 206 y el recipiente de mezcla 202, y/o entre el medio de mezcla 204 y la mezcla de película de electrodo 206.

El tamaño del volumen interno del recipiente de mezcla 202 se puede seleccionar basándose en varios factores, que incluyen, por ejemplo, una cantidad de una mezcla de película de electrodo para procesar en el recipiente de mezcla 202, un material del medio de mezcla 204 y/o una composición del componente aglutinante de la película de electrodo. En algunas realizaciones, se puede seleccionar un tamaño del volumen interno del recipiente de mezcla 202 para proporcionar suficiente espacio dentro del cual la mezcla de película de electrodo 206 y/o el medio de mezcla 204 pueden moverse con respecto al recipiente de mezcla 202 y/o uno respecto al otro, cuando una cantidad de la mezcla de película de electrodo 206 y/o el medio de mezcla 204 están contenidos dentro del recipiente 202 para su procesamiento. Por ejemplo, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede incluir una cantidad de espacio muerto desocupado, cuando contiene y se mezcla la mezcla de película de electrodo 206, y se fibrila el componente aglutinante. Por ejemplo, el recipiente de mezcla 202 puede tener un volumen interno de tamaño suficiente, en relación con el volumen de la mezcla de película de electrodo 206 y el medio de mezcla 204, para facilitar el movimiento

suficiente de la mezcla de película de electrodo 206 y/o el medio de mezcla 204 para proporcionar el contacto deseado entre el recipiente de mezcla 202 y el medio de mezcla 204, entre la mezcla de película de electrodo 206 y el medio de mezcla 204, y/o entre la mezcla de película de electrodo 206 y el recipiente de mezcla 202. Proporcionar un volumen interno dentro del recipiente 202 con suficiente espacio muerto, con respecto a los componentes contenidos dentro del recipiente 202, tales como la mezcla de película de electrodo 206 y el medio de mezcla 204, durante el procesamiento, puede facilitar la fibrilación del componente aglutinante de la película de electrodo. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 tiene un volumen suficiente para facilitar la generación de campo electrostático, para proporcionar la fibrilación del componente aglutinante de la película de electrodo. En algunas realizaciones, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede tener de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 45 % de espacio muerto, que incluye de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 35 % de espacio muerto, y el resto del volumen interno contiene la mezcla de película de electrodo 206, o el medio de mezcla 204 y la mezcla de película de electrodo 206. En algunas realizaciones, el volumen interno del recipiente de mezcla 202 puede tener de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 20 % de espacio muerto, incluyendo de aproximadamente un 5 % a aproximadamente un 10 % de espacio muerto, con el resto del volumen interno que contiene la mezcla de película de electrodo 206, o el medio de mezcla 204 y la mezcla de película de electrodo 206.

Un recipiente de mezcla 202 que comprende un espacio muerto demasiado grande puede reducir la eficiencia en la generación del campo electrostático dentro del recipiente 202, reduciendo o impidiendo la fibrilación del componente aglutinante de la mezcla de película de electrodo 206. Un recipiente de mezcla 202 que tiene un espacio muerto demasiado pequeño puede reducir o prevenir el movimiento deseado del medio de mezcla 204 y/o la mezcla de película de electrodo 206 dentro del recipiente 202, reduciendo o impidiendo la fibrilación del componente aglutinante de la mezcla de película de electrodo 206.

El recipiente de mezcla 202 puede estar fabricado de un material que tenga una mayor afinidad para donar electrones, incluidos materiales naturales y/o sintéticos. Por ejemplo, el recipiente de mezcla 202 puede comprender un material con afinidad para donar electrones al medio de mezcla 204 y/o un componente aglutinante de las mezclas de películas de electrodos 206. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 puede estar fabricado de un material que comprende un metal. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 puede estar fabricado de aluminio, plomo y/o aleaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 puede estar fabricado de un material que comprende cuero, piel, vidrio, poliamidas (por ejemplo, nailon), seda, celulosa (por ejemplo, papel) y/o combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, al menos una parte del recipiente de mezcla 202 puede revestirse con uno o más materiales que tengan afinidad para donar electrones. Por ejemplo, una o más superficies del recipiente de mezcla 202 se pueden revestir con aluminio. En algunas realizaciones, todas o sustancialmente todas las superficies de un recipiente de mezcla 202 configurado para estar en contacto con el medio de mezcla 204 y/o la mezcla de película de electrodo 206, como todas o sustancialmente todas las superficies interiores del recipiente de mezcla 202, están revestidas de aluminio. En algunas realizaciones, una o más superficies del recipiente de mezcla 202 pueden estar revestidas con plomo, incluyendo una o más superficies configuradas para estar en contacto con el medio de mezcla 204 y/o la mezcla de película de electrodo 206.

El material para el medio de mezcla 204 se puede seleccionar basándose en varios factores, que incluyen, por ejemplo, un material del componente aglutinante de la película de electrodo y/o un material del recipiente de mezcla 202. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de un material que tiene una tendencia deseada a aceptar uno o más electrones del recipiente de mezcla 202. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede ser un aceptor de electrones con respecto al recipiente de mezcla 202, que puede ser el donador de electrones. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede tener una afinidad suficiente para donar uno o más electrones al componente aglutinante de la película de electrodo. De esta forma, el medio de mezcla 204 puede ser el donador de electrones con respecto al componente aglutinante de la película de electrodo. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de material que tenga una tendencia suficiente a aceptar uno o más electrones del recipiente de mezcla 202, mientras tiene una tendencia suficiente a donar uno o más electrones al componente aglutinante de la película de electrodo. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede configurarse para transferir uno o más electrones desde el recipiente de mezcla 202 al componente aglutinante de la película de electrodo. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de material que tenga la misma o una afinidad similar, o menor afinidad, para donar una carga negativa como el recipiente de mezcla 202 de modo que el recipiente de mezcla 202 pueda transferir carga negativa al medio de mezcla 204 con contacto entre el recipiente de mezcla 202 y el medio de mezcla 204. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede comprender un material que tenga la misma o una afinidad similar, o menor afinidad, para aceptar una carga negativa como componente aglutinante, de modo que la transferencia de carga desde el medio de mezcla 204 al componente aglutinante pueda ocurrir fácilmente con el contacto entre los dos.

En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de un material natural y/o sintético, que incluye, por ejemplo, madera, ámbar, caucho, silicio y/o combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de un material metálico, que incluye aluminio, níquel, cobre, latón, plata, oro, platino y/o combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de un material polimérico, como poliéster, poliuretano (PU), polietileno (PE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), politetrafluoroetileno (PTFE, por ejemplo, Teflon®) y/o combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 se puede seleccionar basándose en la facilidad para mantener la integridad química y/o física

deseada del medio de mezcla 204. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 se puede seleccionar basándose en la facilidad de limpieza y/o la restauración de una o más propiedades del medio de mezcla después de su uso. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede estar fabricado de aluminio para proporcionar la transferencia de una carga negativa desde el recipiente de mezcla 202 al componente aglutinante de la mezcla de película de electrodo 206. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede comprender una pluralidad de unidades fabricadas de aluminio.

El componente aglutinante comprende un aglutinante fibrilable, o puede consistir esencialmente o consistir en un aglutinante fibrilable. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el componente aglutinante comprende politetrafluoroetileno (PTFE). En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 comprende un material que tiene una tendencia deseada a donar electrones al politetrafluoroetileno. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede comprender un material que tenga una tendencia similar o igual a aceptar una carga negativa como politetrafluoroetileno. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede comprender politetrafluoroetileno. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede comprender un material que tenga una menor tendencia a aceptar cargas negativas como politetrafluoroetileno. En algunas realizaciones, el componente aglutinante comprende polietileno (PE), incluido el polietileno de peso molecular ultra alto (UHMWPE). En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 comprende un material que tiene tendencia a donar electrones al polietileno y/o al polietileno de peso molecular ultra alto. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede comprender un material que tenga aproximadamente la misma o menor tendencia a aceptar una carga negativa que el polietileno.

El medio de mezcla 204 puede incluir una pluralidad de unidades que tienen varios tamaños y/o formas adecuadas para facilitar la fibrilación electrostática descrita en este documento. En algunas realizaciones, una o más unidades del medio de mezcla 204 pueden comprender una forma configurada para proporcionar un área específica deseada para entrar en contacto con el recipiente de mezcla 202 y/o la mezcla de película de electrodo 206. En algunas realizaciones, cada unidad del medio de mezcla 204 puede tener una forma esférica o sustancialmente esférica. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede comprender una pluralidad de unidades metálicas y/o unidades poliméricas. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede incluir una pluralidad de unidades de politetrafluoroetileno (por ejemplo, Teflon®) que tienen una forma esférica o sustancialmente esférica. Las unidades dentro del medio de mezcla pueden comprender otras formas tridimensionales, como varillas, alfileres, cubos, pirámides, etc., y no se limitan a formas esféricas.

Se puede seleccionar un tamaño de una o más unidades del medio de mezcla 204 basándose en varios factores. Por ejemplo, el tamaño de una unidad del medio de mezcla 204 se puede seleccionar basándose en un equilibrio de proporcionar una mayor área específica para el contacto con el recipiente de mezcla 202 y/o el componente aglutinante de la película de electrodo, y/o para transportar la carga negativa recibida del recipiente de mezcla 202, al tiempo que proporciona unidades de tamaño suficiente para facilitar la fibrilación del componente aglutinante. Por ejemplo, las unidades del medio de mezcla se pueden dimensionar con suficiente masa para facilitar el mezclado de la mezcla de película de electrodo. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede comprender una pluralidad de unidades esféricas o sustancialmente esféricas que tienen un diámetro de aproximadamente 1 milímetro (mm) a aproximadamente 40 mm, incluyendo de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 15 mm. Por ejemplo, cada unidad esférica o sustancialmente esférica puede tener un diámetro de aproximadamente 12 mm. Se entenderá que estas dimensiones se pueden aplicar de manera similar a realizaciones no esféricas. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede incluir unidades con formas tridimensionales no esféricas que tienen una o más dimensiones (por ejemplo, longitud, anchura, altura, diámetro) correspondientes a los diámetros antes mencionados. Por ejemplo, se puede emplear una varilla cilíndrica con diámetros similares.

La cantidad de medio de mezcla 204 a incluir en el aparato de fibrilación 200, en relación con otros componentes, se puede seleccionar basándose en varios factores. Por ejemplo, la cantidad de medio de mezcla 204 usada puede basarse en la composición del propio medio de mezcla 204. La cantidad de medio de mezcla 204 usada puede basarse en una cantidad y/o un tipo de mezcla de película de electrodo procesada por el aparato de fibrilación 200. Por ejemplo, la cantidad de medio de mezcla 204 se puede seleccionar para facilitar un mayor contacto entre el componente aglutinante de la película de electrodo, el medio de mezcla y/o entre el recipiente de mezcla 202. La cantidad de medio de mezcla 204 se puede seleccionar para facilitar la transferencia de carga al componente aglutinante y/o la generación de un campo electrostático. La cantidad de medio de mezcla 204 se puede seleccionar basándose en uno o más de los factores anteriores, al tiempo que también se reduce la cantidad de medio de mezcla 204 usado. Una cantidad reducida de medio de mezcla 204 puede aumentar la cantidad de mezcla de película de electrodo 206 que se puede procesar dentro del recipiente de mezcla 202. En algunas realizaciones, el medio de mezcla 204 puede ser de aproximadamente 2 veces a aproximadamente 10 veces el peso de la mezcla de película de electrodo 206, incluyendo de aproximadamente 3 veces a aproximadamente 8 veces el peso de la mezcla de película de electrodo 206. Por ejemplo, el medio de mezcla 204 puede ser aproximadamente 8 veces el peso de la mezcla de película de electrodo 206. En una realización, el medio de mezcla 204 puede tener un peso de aproximadamente 8 veces el de la mezcla de película de electrodo 206 procesada, incluyendo una mezcla de película de electrodo que comprende un componente aglutinante de politetrafluoroetileno. Dichas relaciones basadas en el peso entre el medio de mezcla y la mezcla de película de electrodo pueden proporcionar un mejor contacto superficial y donación de electrones entre los componentes, al tiempo que aumentan la cantidad de mezcla de película de electrodo que se está procesando.

Como se ha descrito anteriormente, el contacto entre el medio de mezcla, el recipiente de mezcla y/o el componente

aglutinante de la película de electrodo puede facilitar la transferencia de electrones desde el recipiente de mezcla y/o el medio de mezcla al componente aglutinante de electrodo. Dicho contacto entre estos componentes puede facilitar la generación del campo electrostático para manipular el componente aglutinante de la película de electrodo fibrilable cargado negativamente. Esta transferencia de electrones y generación de campo electrostático se puede proporcionar moviendo el recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo uno respecto al otro, tal como aplicando una fuerza sobre el recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo.

El recipiente de mezcla 202 se puede mover de diversas formas. Por ejemplo, el recipiente de mezcla se puede mover manual o automáticamente. El aparato de fibrilación 200 puede incluir uno o más dispositivos, tales como un accionador 201, mostrado esquemáticamente en la Figura 3, para aplicar una fuerza lineal y/o de rotación sobre el recipiente de mezcla 202. Dicha fuerza o fuerzas pueden traducirse en un movimiento del recipiente 202 en una o más direcciones. El accionador 201 puede incluir uno o más motores, accionadores lineales, deslizadores, cojinetes o cualquiera de una serie de dispositivos adecuados capaces de proporcionar un movimiento relativo entre el recipiente 202 y otro componente de soporte, como una base 203. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 se puede mover en una dirección lateral (por ejemplo, horizontalmente, como se muestra por la flecha horizontal 208, o en un plano horizontal de la vista que se muestra en la Figura 3). El recipiente de mezcla 202 se puede mover en una dirección vertical (por ejemplo, verticalmente, como se muestra por la flecha vertical 210 en la Figura 3). El recipiente de mezcla 202 se puede mover en una dirección en ángulo (por ejemplo, en una dirección en un ángulo θ superior a cero, y diferente a un ángulo recto con respecto a un plano horizontal, como el suelo, por ejemplo, como se muestra por flecha en ángulo 212 en la Figura 3). En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 se puede girar en el sentido de las agujas del reloj (flechas 214) o en el sentido contrario a las agujas del reloj (flechas 216). El recipiente puede configurarse para moverse en cualquiera de varias longitudes (arcos) y patrones diferentes, y puede moverse mediante vibración, oscilación, sonicación o mediante otros métodos, en una o más de cualquiera de las direcciones mencionadas anteriormente. En algunas realizaciones, se puede seleccionar una magnitud de la fuerza sobre el recipiente de mezcla y/o una tasa de repetición de la fuerza aplicada para facilitar la fibrilación eficiente del componente aglutinante de la película de electrodo de la mezcla de película de electrodo 206. Por ejemplo, la magnitud de la fuerza aplicada y/o la tasa de repetición de la fuerza aplicada pueden seleccionarse basándose en el peso y/o el material del recipiente de mezcla, el medio de mezcla, la mezcla de película de electrodo, y/el o componente aglutinante de la película de electrodo. Los ejemplos de accionadores 201 adecuados pueden incluir un agitador de pintura, un mezclador acústico y/o similares. En algunas realizaciones, el accionador 201 puede incluir un mezclador acústico resonante.

En algunas realizaciones, se puede aplicar fuerza al medio de mezcla y/o la mezcla de película de electrodo para desplazar y mover dos o más del medio de mezcla, la mezcla de película de electrodo (incluido su componente aglutinante) y el recipiente de mezcla uno respecto al otro. Por ejemplo, un accionador puede utilizar la sonicación para agitar el medio de mezcla y/o la mezcla de película de electrodo. Se puede seleccionar una frecuencia del proceso de sonicación basándose en varios parámetros, que incluyen, por ejemplo, un peso y/o un material del recipiente de mezcla, el medio de mezcla, la mezcla de película de electrodo y/o el componente aglutinante de la película de electrodo.

En algunas realizaciones, el aparato de fibrilación 200 puede incluir uno o más componentes configurados para prevenir o prevenir sustancialmente una descarga eléctrica por el recipiente de mezcla 202, por ejemplo una descarga eléctrica a una tierra eléctrica. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 puede incluir una cubierta exterior que sea eléctricamente aislante o sustancialmente aislante eléctricamente. Por ejemplo, la cubierta exterior puede encerrar o encerrar sustancialmente el recipiente de mezcla 202 para evitar la descarga de carga eléctrica a tierra por el recipiente de mezcla 202. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla 202 puede colocarse en un aparato, tal como un soporte fabricado de un material eléctricamente aislante o sustancialmente eléctricamente aislante para prevenir o prevenir sustancialmente la descarga eléctrica por el recipiente de mezcla 202. La cubierta del recipiente de mezcla y/o el aparato sobre el que se coloca el recipiente de mezcla pueden estar fabricados de un material eléctricamente aislante y/o pueden revestirse con un material eléctricamente aislante.

La Figura 4 muestra un ejemplo de un proceso 300 para fibrilar un componente aglutinante de la película de electrodo usando un campo electrostático, tal como una película de electrodo adecuada para su uso en un ultracondensador y/o una batería. En el bloque 302, un medio de mezcla, como el medio de mezcla 204, como se describe con referencia a la Figura 3, se puede combinar con componentes de la película de electrodo en un recipiente de mezcla, como el recipiente de mezcla 202 como se describe con referencia a la Figura 3. Los componentes de la película de electrodo pueden incluir un aglutinante fibrilable que, cuando se mezcla con otros componentes de la película de electrodo, tales como carbono activado y/o conductor, forma una mezcla de película de electrodo. En el bloque 304, se puede aplicar una fuerza al recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o los componentes de la película de electrodo. Esta fuerza facilita el movimiento del recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo uno respecto al otro, y/o facilita el contacto entre el componente aglutinante de la película de electrodo, el medio de mezcla y/o el recipiente de mezcla. Dicho movimiento y/o contacto puede dar lugar a la fibrilación del componente aglutinante. Por ejemplo, se puede aplicar una fuerza al recipiente de mezcla, tal como agitando el recipiente de mezcla a lo largo de una o más direcciones (por ejemplo, horizontal, vertical, y/o en un ángulo que no sea horizontal o vertical), y/o girando el recipiente de mezcla. Por ejemplo, se puede aplicar una fuerza a los

componentes de mezcla y/o al medio de mezcla (por ejemplo, una fuerza acústica).

La Figura 5 muestra un ejemplo de un proceso 400 para fabricar una película de electrodo de un dispositivo de almacenamiento de energía. En el bloque 402, se pueden combinar componentes para una película de electrodo. Por ejemplo, se pueden combinar componentes de la película de electrodo que incluyen el componente aglutinante de la película de electrodo y otros componentes, tales como un componente de carbono activado y/o un componente de negro de humo conductor. Estos componentes se pueden mezclar, cuando o después de que se combinen, para formar una mezcla de película de electrodo homogénea o sustancialmente homogénea. En algunas realizaciones, los componentes de la mezcla de película de electrodo pueden someterse a un proceso de universalización. Por ejemplo, el proceso de universalización puede mezclar de manera uniforme o sustancialmente uniforme los componentes de la mezcla de película de electrodo, creando una mezcla homogénea o sustancialmente homogénea. La mezcla y/o universalización de los componentes de la película de electrodo se puede realizar en varios aparatos de mezcla de bajo cizallamiento adecuados, que incluyen, por ejemplo, un mezclador de rodillos y/o un mezclador acústico. En algunas realizaciones, un mezclador de menor cizallamiento puede comprender un mezclador acústico resonante.

El proceso de mezcla se puede realizar durante un período de tiempo para lograr el nivel deseado de mezcla de los componentes de la película de electrodo. En algunas realizaciones, se puede mezclar una mezcla de película de electrodo en un mezclador de rodillos durante aproximadamente 12 horas a aproximadamente 20 horas para lograr el nivel deseado de mezcla. En el bloque 404, la mezcla de película de electrodo puede sufrir un proceso de secado. El secado de la mezcla de película de electrodo se puede realizar en un horno, como un horno de vacío. El proceso de secado puede ayudar a eliminar la humedad de uno o más componentes de la película de electrodo para facilitar un proceso de fibrilación más eficaz. Por ejemplo, la eliminación de la humedad residual de la mezcla de película de electrodo puede facilitar la transferencia de carga negativa desde el recipiente de mezcla y/o el medio de mezcla al componente aglutinante de la película de electrodo, y/o la generación de un campo electrostático para manipular componentes aglutinantes de película de electrodo cargados negativamente. Se puede seleccionar una temperatura y/o duración del proceso de secado, por ejemplo, basándose en una cantidad de la mezcla que se está secando y/o un grado de sequedad deseado (por ejemplo, la cantidad de eliminación de humedad deseada). En algunas realizaciones, el proceso de secado se puede realizar a una temperatura de aproximadamente 70 °C a aproximadamente 100 °C, incluyendo de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 90 °C. El proceso de secado se puede realizar durante un período de aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 20 horas, incluyendo, por ejemplo, de aproximadamente 5 horas a aproximadamente 15 horas. Por ejemplo, el proceso de secado se puede realizar a una temperatura de aproximadamente 85 °C durante aproximadamente 12 horas. En algunas realizaciones, los componentes de la película de electrodo pueden no sufrir un proceso de secado.

En el bloque 406, la mezcla de película de electrodo (por ejemplo, la mezcla que incluye componentes que se sometieron a un proceso de secado) se puede combinar en un recipiente de mezcla de un aparato de fibrilación (por ejemplo, un aparato de fibrilación 200 de la Figura 3) con un medio de mezcla. En el bloque 408, se puede aplicar una fuerza al recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o la mezcla de película de electrodo de manera que el recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o la mezcla de película de electrodo puedan moverse uno respecto al otro, y/o para facilitar el contacto entre el componente aglutinante de la película de electrodo, el medio de mezcla y/o el recipiente de mezcla. La fuerza aplicada en el bloque 408 se puede seleccionar para facilitar un mayor contacto entre el recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o la mezcla de película de electrodo, incluido el componente aglutinante. Sin estar limitado por la teoría o ningún modo particular de funcionamiento, un mayor contacto entre el recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo, puede facilitar una mayor transferencia de electrones desde el recipiente de mezcla y/o el medio de mezcla al componente aglutinante y/o mejorar la generación de un campo electrostático deseado para facilitar la fibrilación del componente aglutinante. Por ejemplo, un mayor contacto entre el recipiente de mezcla, el medio de mezcla y/o el componente aglutinante de la película de electrodo puede facilitar la generación de un campo electrostático más uniforme, facilitando una eficiencia y/o uniformidad mejoradas en el proceso de fibrilación del aglutinante. En algunas realizaciones, el recipiente de mezcla se puede agitar aplicando una fuerza lineal o sustancialmente lineal para mover el recipiente de mezcla hacia adelante y hacia atrás a lo largo de una o más direcciones (por ejemplo, una dirección horizontal, vertical y/o en ángulo) y/o a lo largo una trayectoria en arco alrededor de un eje (por ejemplo, un eje horizontal, vertical y/o en ángulo). En algunas realizaciones, se puede aplicar una fuerza de rotación al recipiente de mezcla. En algunas realizaciones, se puede aplicar una fuerza al medio de mezcla y/o la mezcla de película de electrodo, incluyendo, por ejemplo, una fuerza acústica (por ejemplo, un proceso de sonicación).

En el bloque 410, la mezcla de película de electrodo se puede calandrar para formar una película de electrodo (por ejemplo, una o más de las películas de electrodos 112, 114, 116, 118 de la Figura 1). Por ejemplo, la mezcla de películas se puede calandrar para formar una película independiente. En algunas realizaciones, la película de electrodo se puede formar sobre una o más superficies de un colector de corriente del dispositivo de almacenamiento de energía (por ejemplo, uno o más de los colectores de corriente 108, 110 de la Figura 1). En algunas realizaciones, la película de electrodo se puede calandrar directamente sobre una superficie de un colector de corriente. En algunas realizaciones, se puede usar un material adhesivo para facilitar la adhesión de la película de electrodo a la superficie del colector de corriente.

El rendimiento eléctrico de un primer ultracondensador, por ejemplo en una configuración de celda de moneda,

fabricado usando películas de electrodos que se sometieron a fibrilación por cizallamiento se comparó con el rendimiento eléctrico de un segundo ultracondensador que comprende películas de electrodos fabricadas usando un proceso de fibrilación de campo eléctrico. Los electrodos de los dos ultracondensadores incluían un componente aglutinante que comprendía politetrafluoroetileno, carbono activado y un componente de negro de humo eléctricamente conductor. La fabricación de los dos ultracondensadores incluía el calandrado de las mezclas de películas de electrodos fibrilados en los respectivos colectores de corriente. Los electrodos de los dos ultracondensadores se fabricaron utilizando mezclas de películas de electrodos de partículas secas. Los dos electrodos de los dos ultracondensadores se fabricaron usando mezclas que comprenden un componente aglutinante fibrilable de aproximadamente el 8 % en peso a aproximadamente el 10 % en peso, un componente de negro de humo de aproximadamente el 0,5 % en peso a aproximadamente el 2 % en peso y un componente de carbono activado de aproximadamente el 88 % en peso a aproximadamente el 92 % en peso.

El ultracondensador de celda de moneda que comprende electrodos que se sometieron a fibrilación basada en cizallamiento demostró una resistencia en serie equivalente (RES) de aproximadamente 1,22 ohmios (Ω) y una capacitancia de aproximadamente 0,606 faradios (F). El ultracondensador de celda de moneda que comprende electrodos que se sometieron a fibrilación de campo electrostático demostró una RES de aproximadamente 0,91 Ω y una capacitancia de aproximadamente 0,588 F. Como se muestra en la comparación, el ultracondensador de celda de moneda que comprende los electrodos fabricados usando fibrilación de campo electrostático demostró una RES aproximadamente un 25 % más baja que la del ultracondensador que comprende electrodos fabricados usando fibrilación basada en cizallamiento, al tiempo que mantiene un rendimiento de capacitancia comparable al del ultracondensador que comprende electrodos fabricados mediante fibrilación basada en cizallamiento.

Las Figuras 6A-9B muestran imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de vistas en sección transversal de varias películas de electrodos fabricadas de diversas mezclas de películas de electrodos de partículas secas respectivas.

Las Figuras 6A y 6B muestran dos imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de vistas en sección transversal de una película de electrodo 500. La Figura 6A muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 500 a 5k $\times$ aumentos y la Figura 6B muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 500 a 1k $\times$ aumentos. La película de electrodo 500 mostrada en las Figuras 6A y 6B se fabricó sin o sustancialmente sin un proceso en el que la mezcla de película de electrodo se sometió a contacto repetido con un medio de mezcla y/o un recipiente de mezcla de un aparato de fibrilación (por ejemplo, el aparato de fibrilación 200 como se describe con referencia a la Figura 3). La película de electrodo 500 se formó usando una mezcla de película de electrodo que tiene componentes que se combinaron en un aparato de mezcla (por ejemplo, mezclado en un mezclador de rodillos, durante un período de al menos aproximadamente 12 horas) de modo que los componentes de la película de electrodo 500 se mezcla uniformemente o de manera sustancialmente uniforme, y donde la mezcla de película de electrodo se secó en un horno de vacío (por ejemplo, a aproximadamente 85 °C, durante un período de aproximadamente 12 horas) para facilitar la eliminación de cualquier humedad residual. La película de electrodo 500 incluía un componente de carbono activado, un componente de negro de humo conductor y un componente aglutinante que comprendía politetrafluoroetileno (PTFE). La mezcla de película de electrodo seca se calandró posteriormente para formar la película de electrodo 500, sin o sustancialmente sin un proceso en el que la mezcla de película de electrodo se sacudió y/o se agitó de otro modo dentro de un aparato de fibrilación para proporcionar un contacto repetido entre el componente aglutinante de película de electrodo y el aparato de fibrilación. Las Figuras 6A y 6B muestran que se formaron fibrillas mínimas, y/o ninguna o sustancialmente ninguna fibrilla en la película de electrodo. A mayor aumento, la Figura 6A muestra una vista más clara de las partículas de PTFE 502 dispersas entre el componente de carbono activado 504 de la película de electrodo 500. Como puede verse en la Figura 6A, la película de electrodo 500 no incluía fibrillas o sustancialmente no incluía ninguna fibrilla de PTFE.

Las Figuras 7A y 7B muestran dos imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de vistas en sección transversal de una película de electrodo 600. La Figura 7A muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 600 a 5k $\times$ aumentos y la Figura 7B muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 600 a 1k $\times$ aumentos. Los componentes de la película de electrodo 600 se combinaron en un aparato de mezcla (por ejemplo, un mezclador de rodillos, durante una duración de al menos aproximadamente 12 horas). La película de electrodo 600 incluía la misma o sustancialmente la misma composición que la película de electrodo 500 (por ejemplo, incluyendo un componente de carbono activado, un componente de negro de humo conductor y un componente aglutinante que comprende politetrafluoroetileno (PTFE)). La mezcla de película de electrodo se secó en un horno de vacío (por ejemplo, a aproximadamente 85 °C, durante un período de aproximadamente 12 horas) para facilitar la eliminación de cualquier humedad residual. La mezcla de película de electrodo seca de la película de electrodo 600 se combinó en un recipiente de mezcla de un aparato de fibrilación (por ejemplo, el aparato de fibrilación 200 de la Figura 3) con un medio de mezcla que comprende cuentas de PTFE (por ejemplo, cuentas de PTFE que tienen un diámetro de aproximadamente 13 milímetros), donde el recipiente de mezcla está fabricado de un material que comprende poliestireno. La mezcla de película de electrodo y el medio de mezcla se agitaron en un recipiente de mezcla del aparato de fibrilación durante un período de aproximadamente 15 minutos, y la mezcla agitada se calandró entonces para formar la película de electrodo 600. Por ejemplo, el recipiente de mezcla se puede mover verticalmente (por ejemplo, arriba y abajo), horizontalmente (por ejemplo, izquierda y derecha) y/o rotacionalmente para facilitar la fibrilación. Las Figuras 7A y 7B muestran que la película de electrodo 600 incluye un mínimo de fibrillas y/o ninguna o

sustancialmente ninguna fibrilla. Por ejemplo, la Figura 7A muestra partículas de PTFE 602 dispersas entre el componente de carbono activado 604. Sin estar limitado por ninguna teoría particular o ningún modo particular de funcionamiento, un recipiente de mezcla fabricado de un material de poliestireno puede tener una afinidad insuficiente para donar carga negativa. Por ejemplo, el recipiente de mezcla de poliestireno puede tener una afinidad insuficiente para donar carga negativa al medio de mezcla y/o al componente aglutinante que comprende PTFE, evitando así o impidiendo sustancialmente la generación de un campo electrostático en el que los componentes aglutinantes que llevan cargas negativas pueden manipularse para formar fibrillas.

Las Figuras 8A y 8B muestran dos imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de vistas en sección transversal de una película de electrodo 700. La Figura 8A muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 700 a 5k × aumentos y la Figura 8B muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 700 a 1k × aumentos. La película de electrodo 700 tenía la misma o sustancialmente la misma composición que las películas de electrodos 500, 600 de las Figuras 6A/6B y 7A/7B, respectivamente. Por ejemplo, la película de electrodo 700 incluía un componente de carbono activado, un componente de negro de humo conductor y un componente aglutinante que comprendía politetrafluoroetileno (PTFE). La película de electrodo 700 se fabricó usando un proceso similar al utilizado para fabricar la película de electrodo 600, excepto por que se usó un recipiente de mezcla fabricado de un material de aluminio en el aparato de fibrilación. Los componentes de la película de electrodo 700 se combinaron en un mezclador de rodillos, durante al menos aproximadamente 12 horas, y posteriormente se secaron en un horno de vacío a aproximadamente 85 °C, durante un período de aproximadamente 12 horas para facilitar la eliminación de cualquier humedad residual. La mezcla de película de electrodo seca de la película de electrodo 700 se combinó en un recipiente de mezcla de un aparato de fibrilación similar al aparato de fibrilación 200 de la Figura 3 con un medio de mezcla. El medio de mezcla estaba fabricado de unidades de PTFE sustancialmente esféricas que tenían un diámetro de aproximadamente 13 milímetros. El recipiente de mezcla estaba fabricado de un material que comprende aluminio. La mezcla de película de electrodo y el medio de mezcla se agitaron en el recipiente de mezcla del aparato de fibrilación durante un período de aproximadamente 15 minutos. La mezcla agitada se calandró entonces para formar la película de electrodo 700. En referencia a las Figuras 8A y 8B, pueden verse claramente las fibrillas de PTFE 702 sobre las superficies del componente de carbono activado de la película de electrodo 700, lo que demuestra una fibrilación eficaz del componente aglutinante. Sin estar limitado por ninguna teoría en particular o ningún modo particular de funcionamiento, un recipiente de mezcla fabricado de un material de aluminio puede tener suficiente afinidad para donar electrones al medio de mezcla que comprende cuentas de PTFE y/o el componente aglutinante de PTFE, facilitando la colocación de cargas negativas en el componente aglutinante de PTFE y/o la generación de un campo electrostático, de manera que el componente aglutinante de PTFE cargado negativamente pueda ser manipulado por el campo electrostático, facilitando la fibrilación del componente aglutinante de PTFE.

Las Figuras 9A y 9B muestran dos imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) de vistas en sección transversal de una película de electrodo 800. La Figura 9A muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 800 a 5k × aumentos y la Figura 9B muestra una vista en sección transversal de la película de electrodo 800 a 1k × aumentos. La película de electrodo 800 tenía una composición similar a la de las películas de electrodos 500, 600 y 700 descritas en este documento con referencia a una o más de las Figuras 6A-8B. Los componentes de la película de electrodo 800 se mezclaron y el componente aglutinante se fibriló usando un proceso de fibrilación mecánica de alto cizallamiento (combinando la mezcla de película de electrodo en un molino de chorro). La mezcla de película de electrodo que comprende el componente aglutinante fibrilado mecánicamente se calandró entonces para formar la película de electrodo 800. Las Figuras 9A y 9B muestran fibrillas de PTFE 802 sobre superficies del componente de carbono activado 804 de la película de electrodo 800. Basado en la comparación de las Figuras 8A, 8B con las Figuras 9A, 9B, se puede ver que la fibrilación de un componente aglutinante usando un campo electrostático puede proporcionar resultados al menos comparables a los logrados por un proceso de fibrilación mecánica de alto cizallamiento, al tiempo que se logra un mejor rendimiento del electrodo, como se describe más arriba.

REIVINDICACIONES

1. Un método para fibrilar un componente aglutinante de una película de electrodo, que comprende:

5 proporcionar un componente aglutinante fibrilable cargado negativamente poniendo en contacto un componente aglutinante fibrilable con un donador de electrones en donde el donador de electrones comprende un recipiente de mezcla de un aparato de fibrilación, en donde el recipiente de mezcla está fabricado de un material que tiene afinidad para donar electrones al componente aglutinante fibrilable y en donde poner en contacto el componente aglutinante fibrilable con el donador de electrones comprende aplicar al menos una fuerza lineal y una fuerza de rotación sobre el recipiente de mezcla para desplazar el recipiente de mezcla con respecto al componente aglutinante fibrilable; y
10 fibrilar el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente aplicando un campo electrostático sobre el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente.

15 2. El método de la reivindicación 1, en el que poner en contacto el componente aglutinante fibrilable con el donador de electrones comprende aplicar una fuerza acústica sobre el componente aglutinante fibrilable.

3. El método de la reivindicación 1, en el que proporcionar el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente comprende poner en contacto el componente aglutinante fibrilable con un medio de mezcla.

20 4. El método de la reivindicación 1, que comprende además secar el componente aglutinante fibrilable antes de aplicar el campo electrostático sobre el componente aglutinante fibrilable cargado negativamente, y preferiblemente en donde secar el componente aglutinante fibrilable comprende calentar el componente aglutinante fibrilable en un horno de vacío.

25 5. El método de la reivindicación 1, en el que el componente aglutinante fibrilable comprende politetrafluoroetileno.

6. Un aparato para fibrilar un componente aglutinante de una mezcla de película de electrodo, que comprende:

30 un recipiente de mezcla que comprende un material que tiene afinidad para donar uno o más electrones al componente aglutinante; y
un accionador configurado para aplicar una fuerza sobre el recipiente de mezcla para poner en contacto el recipiente de mezcla con el componente aglutinante y para mover el recipiente de mezcla y el componente aglutinante uno respecto al otro a una velocidad y rango de movimiento suficientes para crear una fuerza electrostática sobre el componente aglutinante y fibrilar el componente aglutinante.

7. El aparato de la reivindicación 6, que comprende además:

40 el componente aglutinante; y
un medio de mezcla que comprende un material que tiene afinidad para transferir carga negativa desde el recipiente de mezcla al componente aglutinante.

8. El aparato de la reivindicación 7, en el que el medio de mezcla comprende un mismo material que el componente aglutinante, y preferiblemente en el que el medio de mezcla y el componente aglutinante comprenden ambos politetrafluoroetileno.

9. El aparato de la reivindicación 7, en el que el accionador además está configurado para aplicar una fuerza sobre el recipiente de mezcla para poner en contacto el medio de mezcla con al menos uno del recipiente de mezcla y el componente aglutinante.

50 10. El aparato de la reivindicación 6, en el que el accionador está configurado para aplicar una fuerza acústica al componente aglutinante.

11. El aparato de la reivindicación 6, en el que el recipiente de mezcla comprende un material de aluminio.

55 12. El aparato de la reivindicación 11, en el que el medio de mezcla comprende un mismo material que el recipiente de mezcla.

13. El aparato de la reivindicación 6, en el que el accionador está configurado para aplicar al menos una de una fuerza lineal y una fuerza de rotación sobre el recipiente de mezcla.

60 14. El aparato de la reivindicación 6, que comprende además un mezclador de bajo cizallamiento para combinar el componente aglutinante con uno o más de otros componentes de la mezcla de película de electrodo.

65 15. Un sistema para llevar a cabo el método de la reivindicación 1, que comprende:
un generador de campo eléctrico para generar el campo electrostático y un recipiente para contener el componente

aglutinante fibrilable cargado negativamente en el que el recipiente de mezcla contiene el componente aglutinante fibrilable de carga negativa.

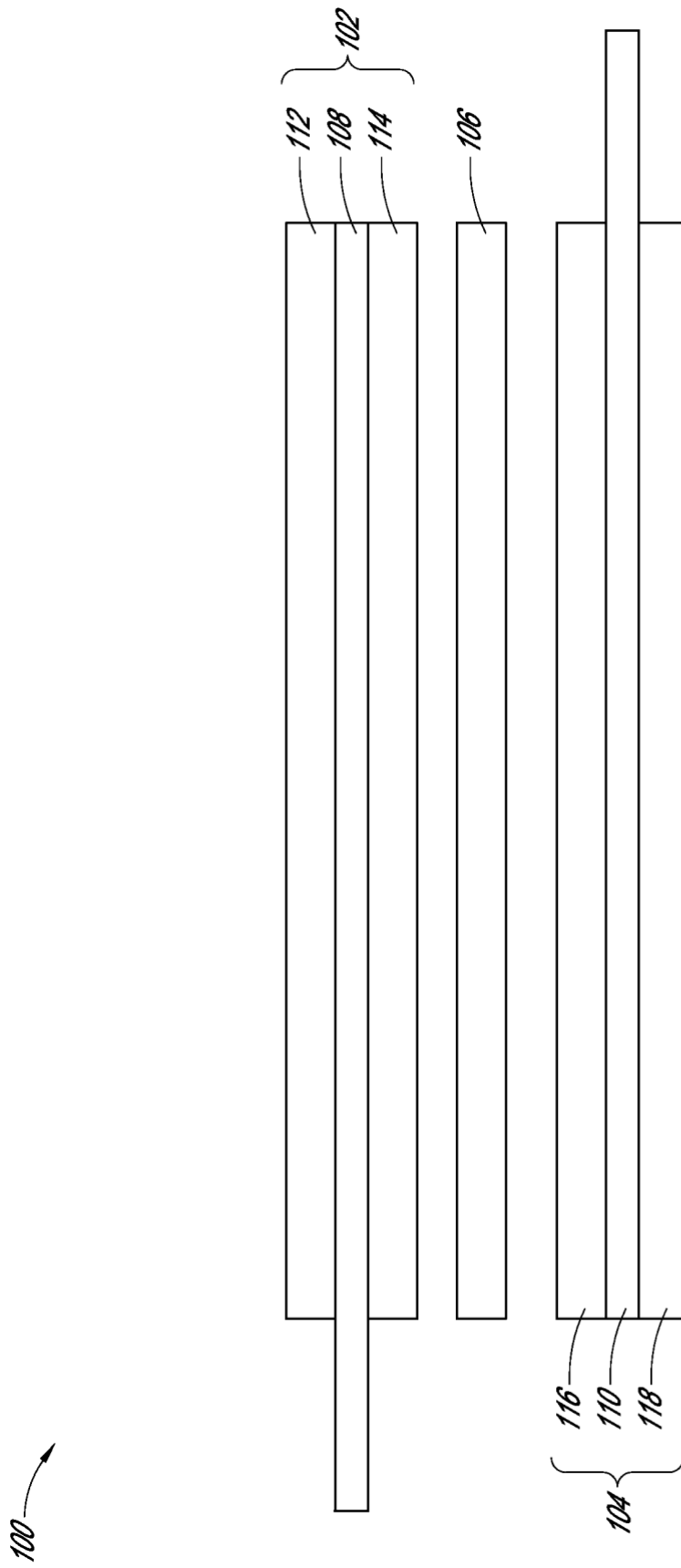


FIG. 1

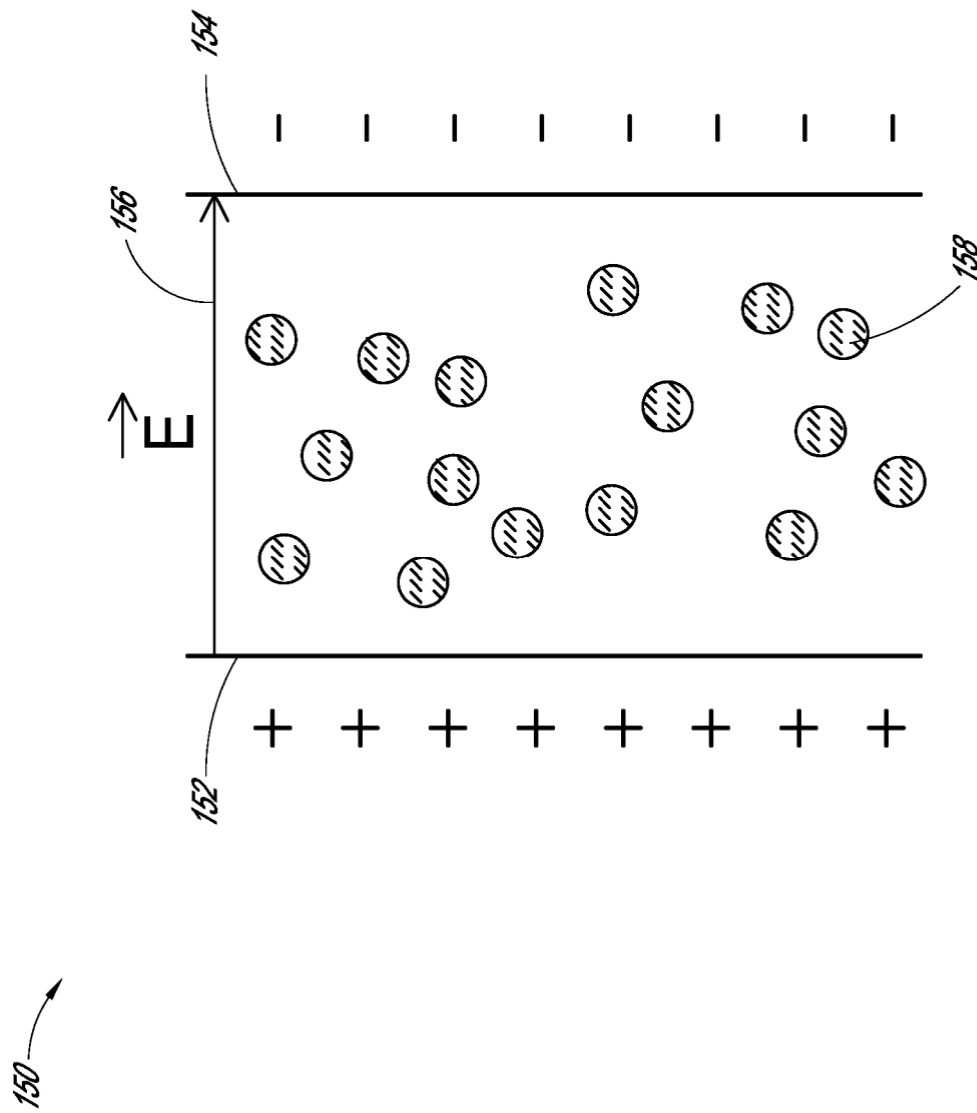


FIG. 2

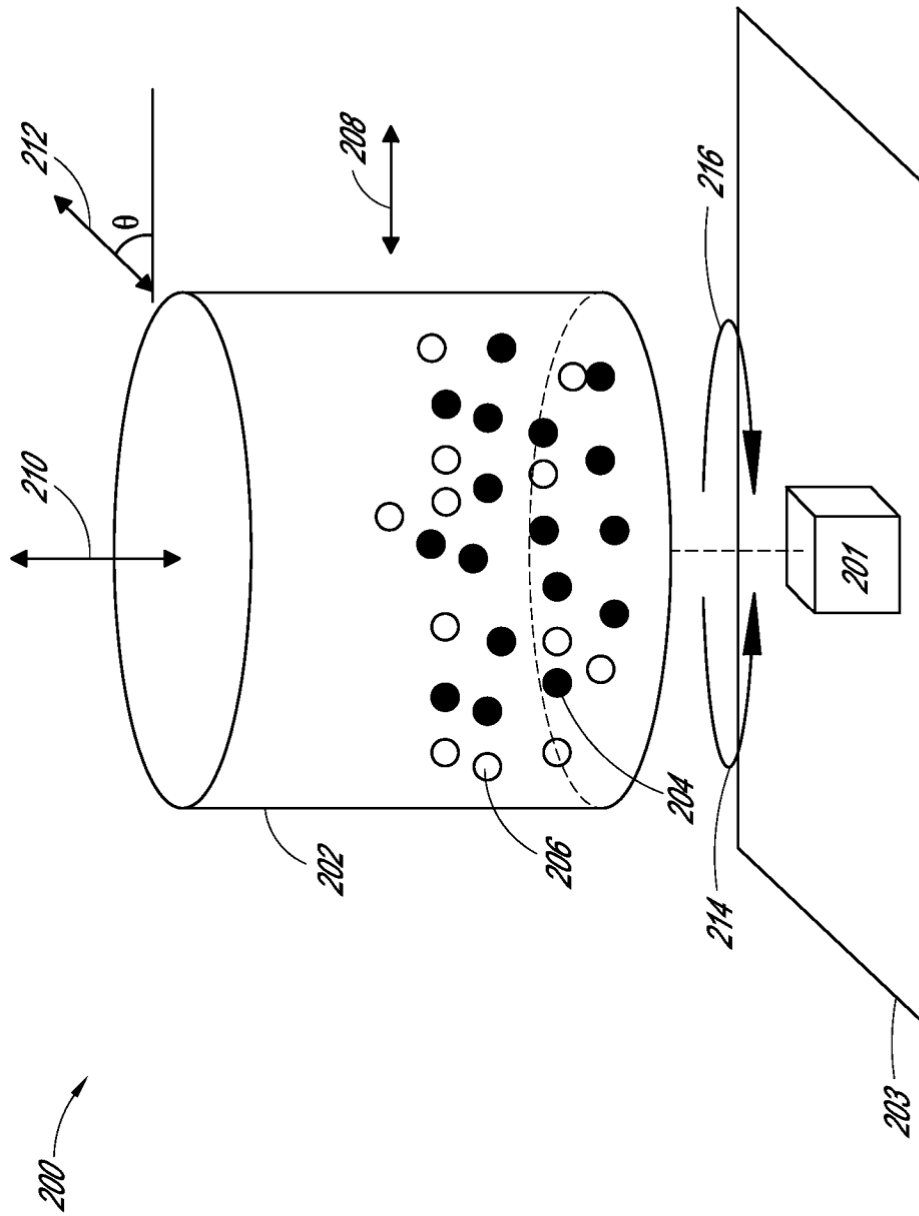


FIG. 3

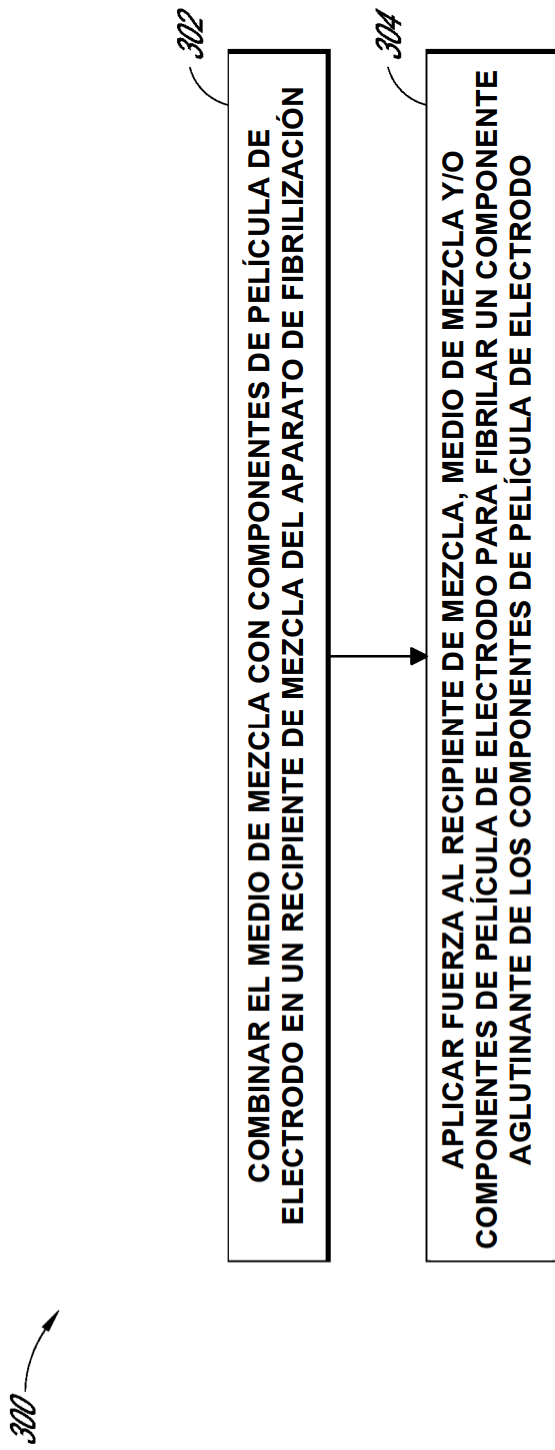


FIG. 4

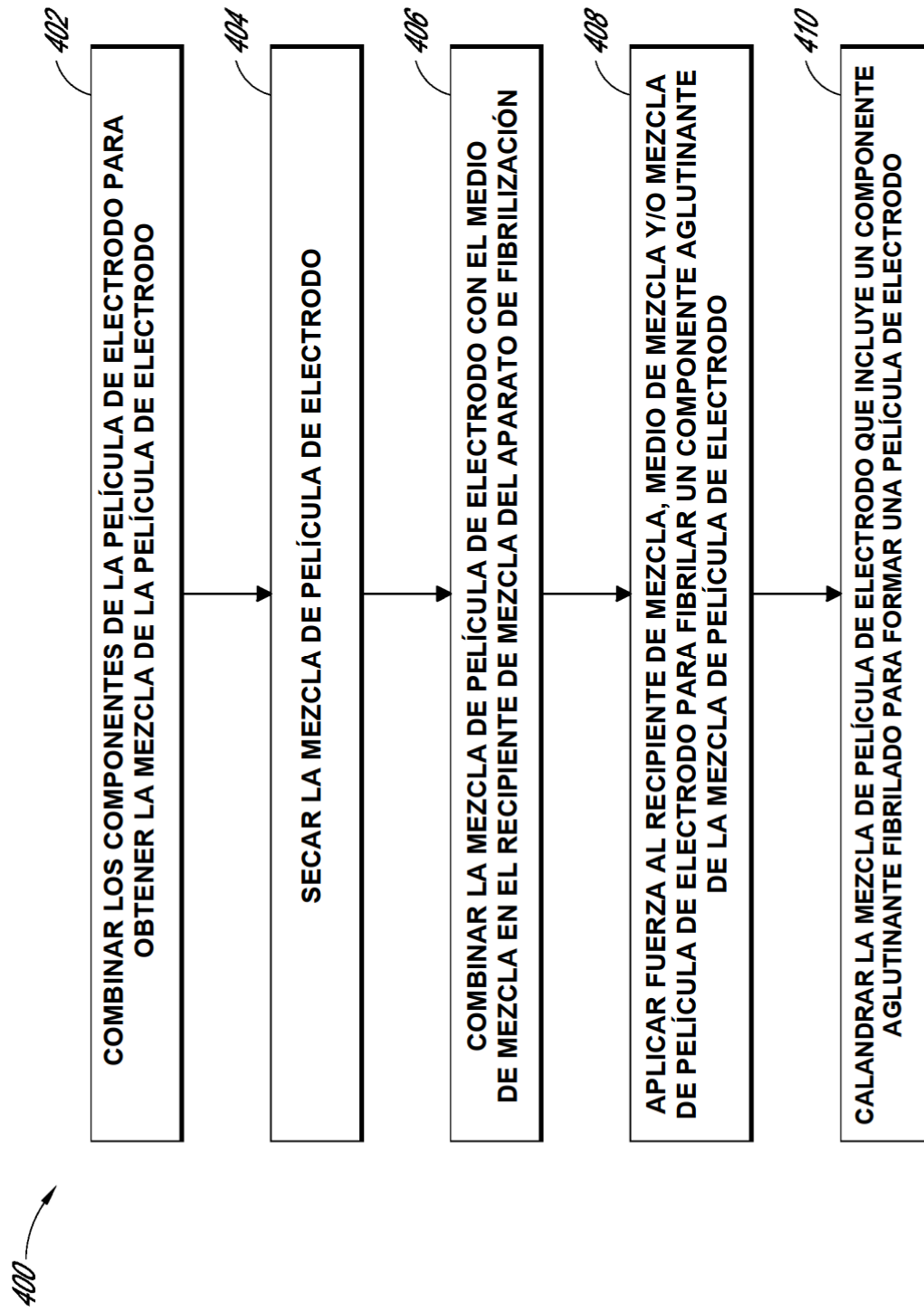
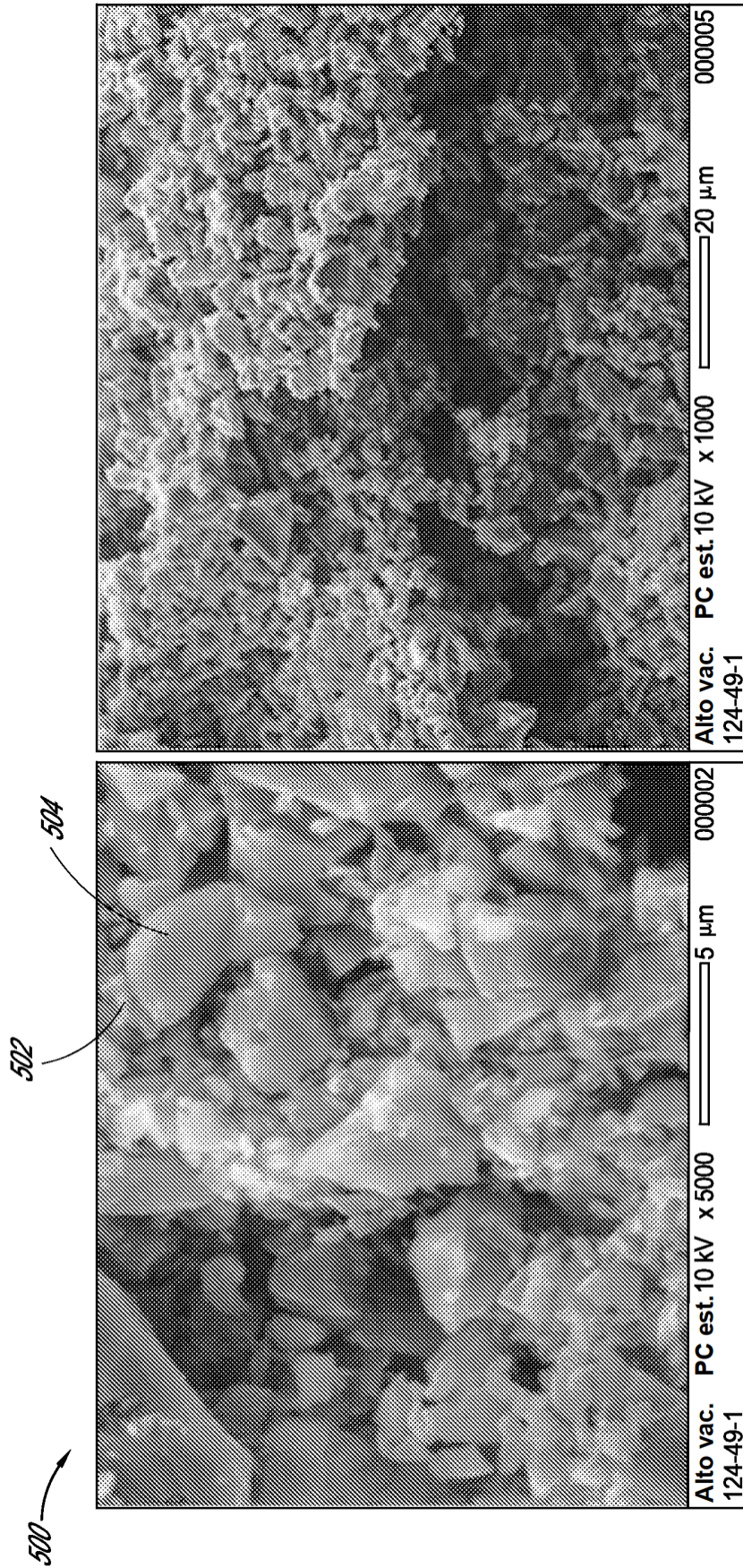
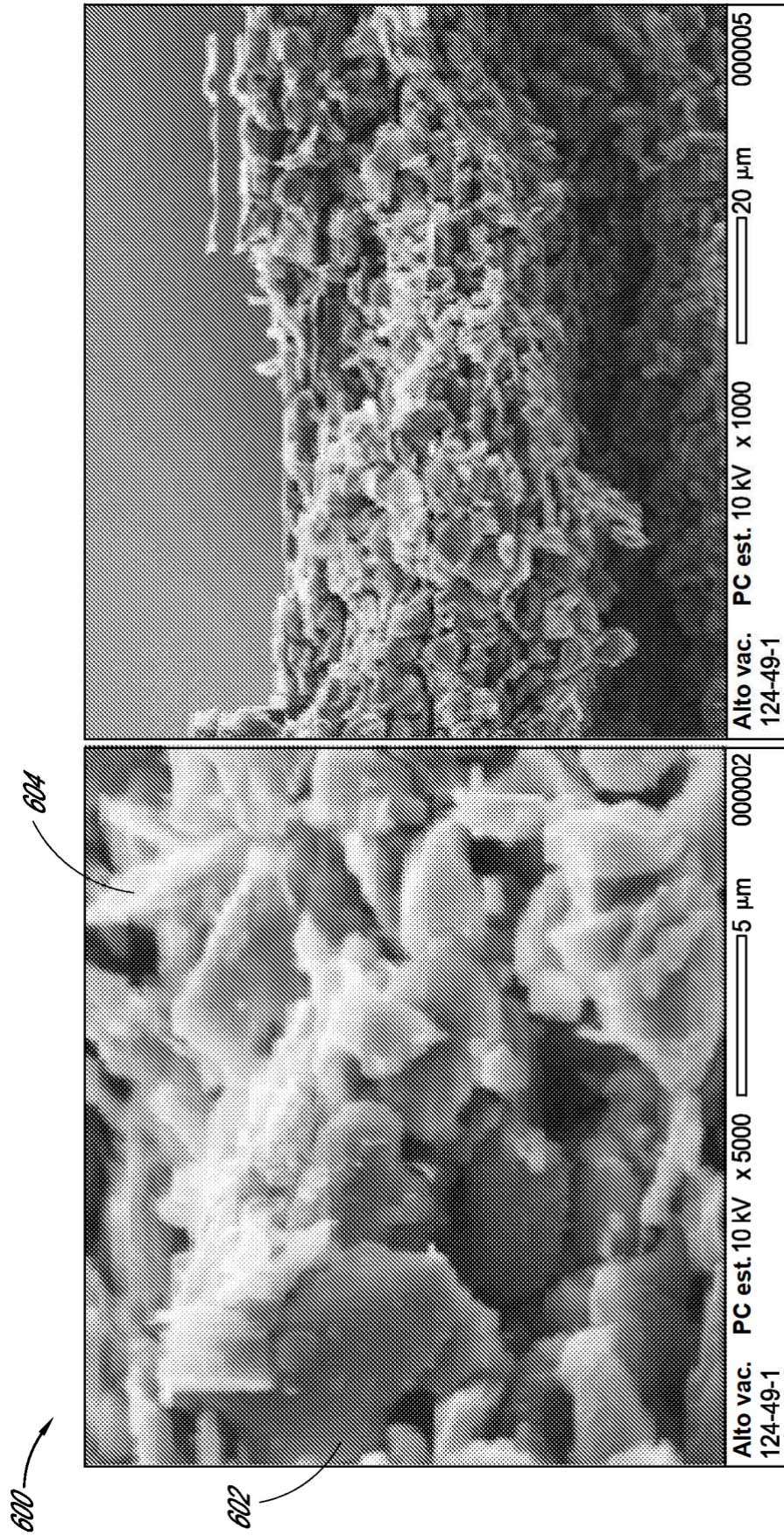


FIG. 5





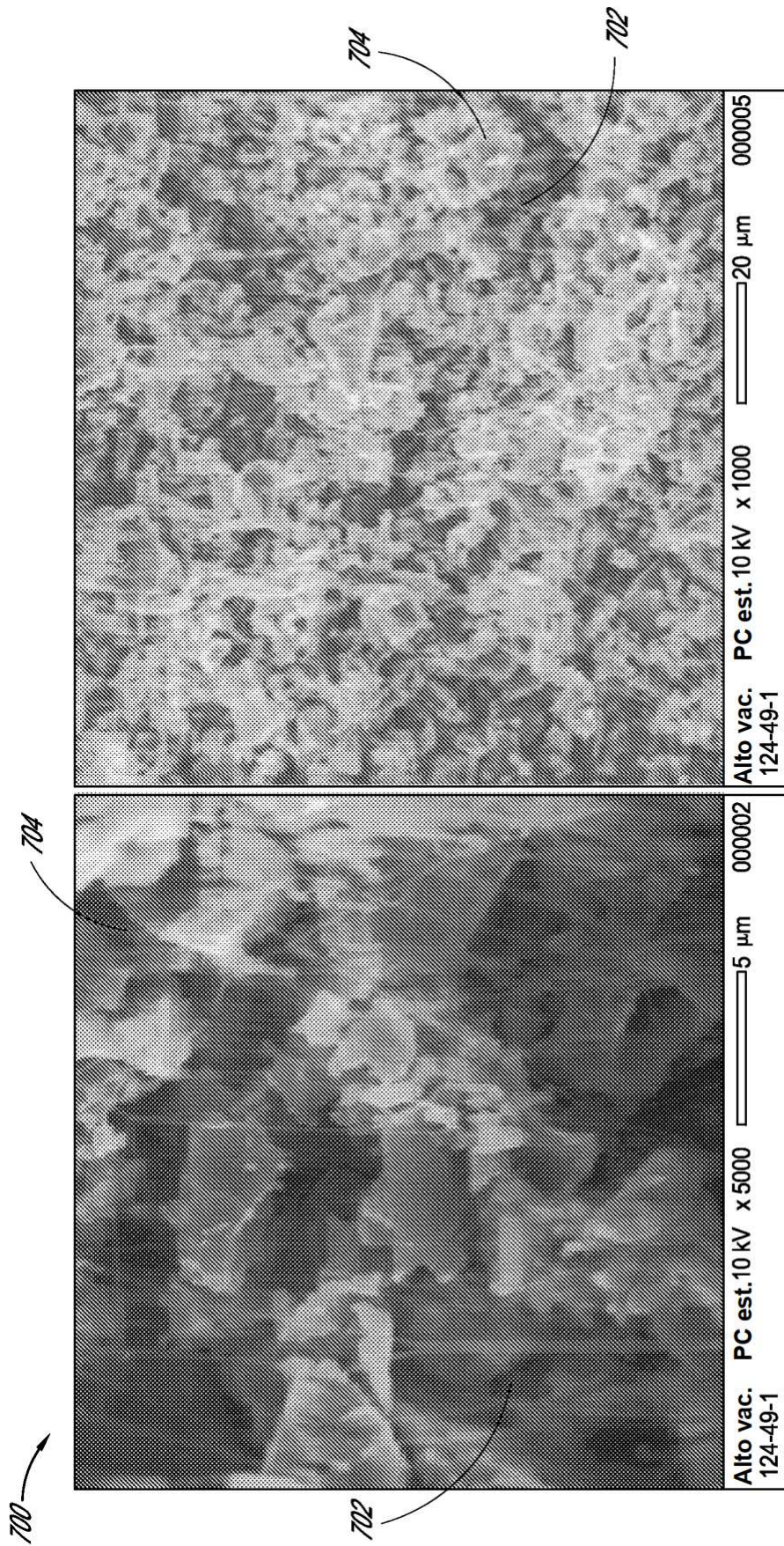


FIG. 8B

FIG. 8A

