

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 879 335**

51 Int. Cl.:

B05D 5/12 (2006.01) **H01G 11/38** (2013.01)
H01G 9/008 (2006.01)
H01G 9/048 (2006.01)
H01G 11/70 (2013.01)
H01G 11/86 (2013.01)
H01G 11/24 (2013.01)
H01G 11/40 (2013.01)
H01M 4/04 (2006.01)
H01G 9/04 (2006.01)
H01G 11/28 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2005** **E 18206064 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.04.2021** **EP 3498385**

54 Título: **Electrodo compuesto y método para fabricarlo**

30 Prioridad:

19.02.2004 US 54609304 P
30.03.2004 US 55757604 P
10.06.2004 US 57872204 P
12.08.2004 US 91693604

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.11.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MITCHELL, PORTER;
XI, XIAOMEI y
ZHONG, LINDA

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 879 335 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 compuesto y método para fabricarlo

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a la fabricación de electrodos y, más específicamente, a la fabricación de electrodos compuestos para dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, tales como condensadores de doble capa.

10

Antecedentes

Los electrodos se usan ampliamente en muchos dispositivos, como por ejemplo, celdas de baterías primarias (no recargables), celdas de baterías secundarias, celdas de combustible y condensadores. Los electrodos normalmente se construyen utilizando dos o incluso más materiales constituyentes. Estos electrodos son conocidos como electrodos compuestos. Una aplicación en la que a menudo se utilizan electrodos compuestos es la construcción de los condensadores de doble capa, que también son conocidos como condensadores electroquímicos, supercondensadores, y ultracondensadores.

15

20

Los condensadores de doble capa emplean electrodos sumergidos en una solución electrolítica como su elemento de almacenamiento de energía. Por lo general, un separador poroso empapado en el electrolito garantiza que los electrodos no entren en contacto entre sí. Se forma una doble capa de cargas en la interfaz entre los electrodos sólidos y el electrolito. (Los condensadores de doble capa deben su nombre descriptivo a estas capas). Cuando se aplica un potencial eléctrico entre un par de electrodos, los iones que se encuentran dentro del electrolito son atraídos hacia las superficies de los electrodos y migran hacia los electrodos. De este modo, se crea una capa de iones con carga opuesta y se mantiene cerca de la superficie de cada electrodo. La energía eléctrica se almacena en las capas de separación de carga entre las capas iónicas y las capas de carga en las superficies de electrodo correspondientes. Las capas de separación de carga se comportan esencialmente como condensadores.

25

30

También se puede almacenar energía adicional en los condensadores de doble capa debido a la orientación y alineación de las moléculas de la solución electrolítica bajo la influencia del potencial eléctrico.

En comparación con los condensadores convencionales, los condensadores de doble capa tienen una alta capacitancia en relación con su volumen y peso. Hay dos razones principales para esta eficiencia volumétrica y de peso. Primero, el ancho de las capas de separación de carga es muy pequeño, del orden de los nanómetros. Segundo, los electrodos pueden estar hechos de un material poroso, que tiene un área muy grande por unidad de volumen. Debido a que la capacitancia es directamente proporcional al área del electrodo e inversamente proporcional al ancho de la capa de separación de carga, el efecto combinado de una capa de separación de carga estrecha y un área superficial grande da como resultado una capacitancia que es muy alta en comparación con la de los condensadores convencionales. La alta capacitancia de los condensadores de doble capa permite que los condensadores reciban, almacenen y liberen grandes suministros de energía eléctrica.

35

40

Otro parámetro importante de rendimiento de un condensador es su resistencia interna. La respuesta de frecuencia de un condensador depende de la constante de tiempo característica del condensador, que es esencialmente un producto de la capacitancia y la resistencia interna, o RC. Para decirlo de otra manera, la resistencia interna limita las tasas de carga y descarga de un condensador, porque la resistencia limita la corriente que fluye dentro o fuera del condensador. Maximizar las tasas de carga y descarga es importante en muchas aplicaciones. En aplicaciones automotrices, por ejemplo, un condensador que se utiliza como elemento de almacenamiento de energía que alimenta el motor de un vehículo debe poder proporcionar una alta potencia instantánea durante la aceleración y recibir ráfagas de energía producidas por el frenado regenerativo. En los vehículos alimentados por combustión interna, el condensador alimenta periódicamente el motor de arranque del vehículo, y también requiere alta potencia en relación con el tamaño del condensador.

45

50

La resistencia interna también crea calor durante los ciclos de carga y descarga. El calor causa tensiones mecánicas y acelera varias reacciones químicas, acelerando así el envejecimiento de los condensadores. Por lo tanto, es deseable reducir la resistencia interna de los condensadores. Además, la energía convertida en calor se pierde, disminuyendo la eficiencia del condensador.

55

Los materiales activos utilizados para la construcción de electrodos, como el carbono activado, por ejemplo, suelen tener una conductancia específica bastante limitada. Por lo tanto, puede desearse una gran área de contacto para minimizar la resistencia de contacto entre el electrodo y su terminal. El material activo también puede ser demasiado frágil o, por lo demás, inadecuado para conectarse directamente a los terminales. Además, el material puede tener una resistencia a la tracción relativamente baja, que necesita soporte mecánico en algunas aplicaciones. Por estos motivos, los electrodos incorporan colectores de corriente.

60

65

Un colector de corriente normalmente es una lámina de material conductor sobre el cual se deposita el material

activo del electrodo, ya sea directamente o sobre una o más capas intermedias. A menudo, la lámina de aluminio se usa como material colector de corriente de un electrodo compuesto. En un proceso de fabricación de electrodos, se produce una película que incluye polvo de carbono activado (es decir, el material del electrodo activo) y luego se une a una lámina delgada de aluminio 20 utilizando un adhesivo. El uso del adhesivo mejora la unión del material del electrodo activo al colector de corriente. Desafortunadamente, este proceso también tiene una serie de desventajas.

Primero, el adhesivo aumenta el coste de los materiales consumidos en el proceso de fabricación de electrodos; algunos adhesivos son bastante caros.

En segundo lugar, se añaden dos etapas al proceso de fabricación. El adhesivo debe aplicarse sobre la lámina colector actual o sobre la película del electrodo activo. El adhesivo también debe dejarse secar y curar. Estas etapas adicionales aumentan el coste del producto final.

En tercer lugar, el adhesivo puede deteriorarse con el tiempo, lo que contribuye a un aumento de la resistencia interna del electrodo. En algunos condensadores de doble capa, por ejemplo, el electrolito reacciona químicamente con el adhesivo, lo que hace que el adhesivo se debilite y que la unión creada por el adhesivo falle.

Cuarto, el uso de adhesivo reduce la eficiencia de almacenamiento de energía del electrodo, porque el adhesivo penetra en los poros del material del electrodo activo, disminuyendo el área activa total de la superficie del electrodo. Por lo tanto, sería preferible reducir o eliminar el uso de adhesivos en electrodos compuestos.

La patente de EE. UU. N.º 4.405.544 divulga un medio para reforzar las mezclas de partículas de negro de carbono "Teflón" (PTFE) destinadas a formar capas activas en cátodos de aire, que comprende: mezclar una dispersión acuosa de politetrafluoroetileno en partículas con una suspensión acuosa de negro de humo en partículas; lavar y secar; mezclar con un agente formador de poros; fibrilar dichas mezclas; lavar y secar; añadir fibras de politetrafluoroetileno mientras se trocea dicha mezcla fibrilada seca y, a continuación, formar dicha mezcla troceada en una lámina, que se lava y se seca.

La Patente de EE.UU. N.º 4.808.493 divulga un proceso para fabricar un electrodo de pila de combustible, teniendo dicho proceso etapas de puesta en contacto de la superficie superior de un sustrato poroso con una mezcla de un polímero hidrófobo y un catalizador soportado por carbono, y estableciendo una distribución de presión reducida a lo largo de la superficie inferior del sustrato poroso para hacer que la mezcla de catalizador se deposite como una capa no uniforme sobre la superficie superior del sustrato.

El documento EP 0146764 divulga un método de producción de un electrodo conductor poroso que comprende mezclar un material electroactivo con aproximadamente 0,5 a aproximadamente 10 por ciento en peso de un fluoropolímero fibrilable, someter la mezcla a un proceso de cizallamiento hasta que la mezcla se convierta en una masa cohesiva autosostenida en la que el material activo esté totalmente ligado por el fluoropolímero fibrilado; mojar completamente la mezcla resultante con un líquido o mezcla formadora de poros relativamente volátil y sustancialmente no polimérica, formar dicha mezcla en el electrodo con la forma deseada y extraer dicho líquido de la mezcla confiriendo así porosidad a dicho electrodo.

La Patente de EE.UU. N.º 6.127.474 divulga un material aglutinante de partículas de alta resistencia a la tracción, conductor de fluorocarbono, útil como electrodos en un condensador de flujo. El material comprende electrodos formados por fibras finas fibriladas, partículas de carbono conductoras y una pequeña cantidad de un aglutinante polimérico. El método incluye mezclar los materiales, fibrilar los polímeros y extrudir el material en forma de electrodos.

Por lo tanto, existe una necesidad de métodos para fabricar electrodos compuestos sin el uso de adhesivos en la interfaz entre el material del electrodo activo y el colector de corriente. Existe una necesidad adicional de electrodos fabricados sin el uso de adhesivos en esta interfaz. Todavía existe otra necesidad de dispositivos de almacenamiento de energía con electrodos sin adhesivo en las interfaces entre las capas activas y los colectores de corriente.

55 Sumario

La presente invención está dirigida a electrodos y procesos para fabricar electrodos que satisfacen estas necesidades. Una realización a modo de ejemplo de la invención descrita en el presente documento es un electrodo compuesto con un colector de corriente y dos capas de película de material de electrodo activo. El colector de corriente es una lámina conductora, por ejemplo, una lámina de aluminio de 20 a 50 micrómetros de espesor. Las capas de película incluyen material de electrodo activo, como partículas de carbono activado. El conductor de corriente se coloca entre las dos películas del material del electrodo activo, y el ensamblaje del colector de corriente y las dos películas se procesa en una línea de contacto de alta presión y alta temperatura, por ejemplo, una calandria. El procesamiento en la línea de contacto de alta presión y alta temperatura hace que las capas de película se unan por presión y se adhieran al colector de corriente. No se utiliza ningún adhesivo en las superficies del colector de corriente y en las superficies de las dos películas que están adyacentes al colector de corriente. Para

promover aún más la adhesión entre las dos películas y el colector de corriente, las superficies del colector de corriente pueden someterse a un tratamiento de desbastado y/o activación, como el tratamiento de corona, antes del procesamiento en la línea de contacto de alta presión y alta temperatura.

5 En una realización, un electrodo puede comprender un colector de corriente que comprende una primera superficie y una segunda superficie, y una primera película de material de electrodo activo, la primera película que comprende una tercera superficie adyacente a la primera superficie del colector de corriente, la tercera superficie de la primera película que se une directamente a la primera superficie del colector de corriente sustancialmente sin el uso de una capa adhesiva entre la primera y la tercera superficie. El colector de corriente puede comprender un material conductor. El factor de superficie de porosidad volumétrica del primer material puede ser de aproximadamente $7,5 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ o mayor. La primera película de material de electrodo activo puede comprender carbono y aglutinante. La primera película de material de electrodo activo puede comprender partículas de carbono y de aglutinante fibriladas y secas. La macroporosidad volumétrica del primer material de electrodo activo puede estar entre aproximadamente el 40 por ciento y aproximadamente el 80 por ciento. La mayoría de los poros en el primer material de electrodo activo puede variar en tamaño entre aproximadamente 1 y aproximadamente 3 micrómetros cúbicos. Una primera superficie puede comprender porciones que definen protuberancias, en el que la mayoría de las protuberancias varían en área entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente 5 micrómetros cuadrados, medida a una elevación de 0,5 micrómetros desde el nivel promedio de la primera superficie. Una pluralidad de protuberancias pueden penetrar los poros en la tercera superficie de la primera película, haciendo que la primera superficie del colector de corriente se adhiera a la tercera superficie de la primera película. La primera superficie del colector de corriente comprende porciones que definen picaduras, en el que la mayoría de las picaduras varían en área superficial entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente 8 micrómetros cuadrados, midiéndose el área superficial de cada picadura a nivel medio de la primera superficie. La primera superficie del colector de corriente puede formar las picaduras químicamente. La primera superficie del colector de corriente puede tratarse por corona para promover la adhesión entre la primera superficie del colector de corriente y la tercera superficie de la primera película. La primera superficie del colector de corriente puede tratarse con plasma activo para promover la adhesión entre la primera superficie del colector de corriente y la tercera superficie de la primera película. La primera superficie del colector de corriente puede estar desbastada mecánicamente para hacer que la primera superficie sea desigual.

10 En una realización, un dispositivo de almacenamiento de energía comprende un colector de corriente que comprende una primera superficie y una segunda superficie, siendo desigual la primera superficie del colector de corriente; y una primera película de material de electrodo activo, la primera película que comprende una tercera superficie adyacente a la primera superficie del colector de corriente, la tercera superficie de la primera película que está unida directamente a la primera superficie del colector de corriente; en el que la primera y la tercera superficie están unidas directamente entre sí haciendo que la primera superficie se adhiera a la tercera superficie. La primera película de material de electrodo activo puede comprender partículas de carbono y de aglutinante fibriladas y secas. El colector de corriente y la primera película de material de electrodo activo pueden configurarse para comprender un electrodo de condensador de doble capa. El electrodo puede comprender un electrodo de condensador de doble capa. La primera película de material de electrodo activo puede unirse al colector de corriente como una película autoportante. El dispositivo puede comprender además una segunda película de material de electrodo activo, la segunda película que comprende una cuarta superficie adyacente a la segunda superficie del colector de corriente, la cuarta superficie de la segunda película que está unida directamente a la segunda superficie del colector de corriente; en el que la cuarta superficie y la segunda superficie se unen directamente entre sí utilizando la cuarta superficie para adherirse a la segunda superficie. La primera película y la segunda película de material de electrodo activo pueden comprender partículas de carbono y de aglutinante fibriladas y secas, y en el que el dispositivo comprende un dispositivo de almacenamiento de energía.

15 En una realización, un método para fabricar un electrodo comprende proporcionar un colector de corriente que comprende una primera superficie y una segunda superficie; proporcionar una primera película de material de electrodo activo que comprende una tercera superficie; proporcionar una segunda película de material de electrodo activo que comprende una cuarta superficie; opcionalmente, desbastar las primera y segunda superficies del colector actual; poner la primera superficie en contacto directo con la tercera superficie; poner la segunda superficie en contacto directo con la cuarta superficie; y presionar la primera película, el colector de corriente y la segunda película juntos para hacer que la primera superficie se adhiera a la tercera superficie, y que la segunda superficie se adhiera a la cuarta superficie. La etapa de prensado puede comprender una etapa de procesamiento de la primera película, el colector de corriente y la segunda película en una calandria para hacer que la primera superficie del colector de corriente se adhiera a la tercera superficie de la primera película, y para provocar que la segunda superficie del colector de corriente se adhiera a la cuarta superficie de la segunda película. La calandria puede aplicar una presión de aproximadamente 43,78 N/mm (250 libras por pulgada lineal) o más sobre la primera película, el colector actual y la segunda película. La etapa de prensado puede comprender una etapa de procesamiento de la primera película, el colector de corriente y la segunda película entre un primer rodillo y un segundo rodillo de una calandria, y además comprender una etapa de calentamiento de al menos uno de los primer y segundo rodillos a una temperatura de entre aproximadamente 100 grados centígrados y aproximadamente 300 grados centígrados. La película puede comprender una mezcla fibrilada seca de partículas de carbono y aglutinantes.

20 Estas y otras características y aspectos de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción, dibujos y reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de las figuras.

La Figura 1 es una vista en sección transversal de alto nivel de un electrodo con una sola capa de película de material de electrodo activo unido por presión a un colector de corriente;

La Figura 2 ilustra etapas seleccionadas de un proceso utilizado para unir por presión el electrodo de la Figura 1;

5 La Figura 3 es una vista en sección transversal de alto nivel de un electrodo con dos capas de película de material de electrodo activo unido por presión a un colector de corriente; y

La Figura 4 ilustra etapas seleccionadas de un proceso utilizado para unir por presión el electrodo de la Figura 3.

Descripción detallada

10 Ahora se hará referencia en detalle a varias realizaciones de la invención que se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se utilizan números de referencia iguales o similares en los dibujos y la descripción para referirse a partes iguales o similares. Los dibujos están en una forma simplificada y no a escala precisa. Por conveniencia y claridad solamente, los términos direccionales, como superior, inferior, izquierda, derecha, arriba, abajo, sobre, encima de, debajo de, por debajo de, posterior, y frontal se usan con respecto a los dibujos adjuntos.

15 Estos y otros términos direccionales similares no deben interpretarse como limitantes del alcance de la invención de ninguna manera. Además, las palabras aglutinante y adhesivo se usan indistintamente, a menos que la diferencia se indique o se aclare del contexto.

20 Con referencia más particularmente a los dibujos, la Figura 1 es una vista simplificada de una sección transversal de un electrodo compuesto 100 de acuerdo con la presente invención. El electrodo 100 incluye un colector de corriente 102 y una película de material de electrodo activo 104, que está dispuesta sobre el colector de corriente 102. En la realización ilustrada, el colector de corriente 102 es una lámina de papel de aluminio de aproximadamente 40 micrómetros de espesor. En realizaciones alternativas de acuerdo con la presente invención, el espesor de la lámina está entre aproximadamente 20 y aproximadamente 100 micrómetros; en otras realizaciones más específicas, el

25 espesor de la lámina de aluminio está entre aproximadamente 30 y aproximadamente 50 micrómetros. Además, se pueden utilizar otros materiales conductores para el colector de corriente 102, que incluyen, por ejemplo, plata, cobre, oro, platino y paladio, así como varias aleaciones de estos metales.

30 Téngase en cuenta que la superficie superior 102A del colector de corriente 102 es irregular y rugosa. En la realización ilustrada, la irregularidad de la superficie 102A es el resultado de un desbaste mecánico. En realizaciones alternativas, la superficie superior del colector de corriente se desbasta y se hace irregular utilizando otros procesos, por ejemplo, picaduras químicas. Además, la superficie superior puede someterse a un tratamiento de activación de la superficie utilizando, por ejemplo, descargas de corona, plasma activo, ultravioleta, láser o métodos de tratamiento de alta frecuencia conocidos por los expertos en la materia apropiada. El tratamiento de

35 activación se puede usar para promover la adhesión entre la superficie superior 102A del colector de corriente 102 y la película 104. De hecho, en algunas realizaciones de electrodos de acuerdo con la invención, el tratamiento de activación de superficie también realiza la función de desbaste de la superficie 102A, o se aplica en lugar de desbastar la superficie 102 A.

40 Si bien la extensión de la irregularidad de la superficie superior del colector de corriente varía mucho de una realización a otra, se ha identificado que la superficie superior del colector de corriente de ciertas realizaciones incluye protuberancias, con la mayoría de las protuberancias que tienen un área entre aproximadamente 0,5 y 5 micrómetros cuadrados, medidas en una elevación de aproximadamente 1 micrómetro desde el nivel promedio de la superficie superior. También se ha identificado que la superficie superior del colector de corriente de ciertas

45 realizaciones incluye picaduras, con la mayoría de las picaduras que tienen un área entre aproximadamente 0, 5 y 8 micrómetros cuadrados en el plano de la superficie superior.

50 La película de material de electrodo activo 104 tiene un área superficial superior 104A, y un área superficial inferior 104B en una interfaz 103 entre la película 104 y el colector de corriente 102. Por "material de electrodo activo" nos referimos a un material que mejora la función del electrodo 100 más allá de proporcionar simplemente un área de contacto o reactiva aproximadamente del tamaño de la superficie superior 104A. En un electrodo de condensador de doble capa, por ejemplo, la película 104 incluye partículas con alta porosidad, de manera que el área superficial del electrodo 100 expuesta a una solución electrolítica en la que el electrodo 100 está inmerso aumenta mucho más allá del área superficial superior 104A. El área superficial efectiva del electrodo 100 se convierte esencialmente en una

55 función del volumen de la película 104, en lugar del área superficial superior 104A. Por simplicidad, se define *factor de superficie de porosidad volumétrica (VPSF)* como la relación entre (1) el área superficial del electrodo 100 que se expone a la solución electrolítica (no incluyendo el área superficial 104A), y (2) el volumen de la película 104. Por ejemplo, si el área superficial 104A es igual 25 a A_s , el área total de la película 104 expuesta al electrolito es $(A_s + A_v)$, y el volumen de la película 104 es V , luego, el factor de superficie de porosidad volumétrica *VPSF* del material de

60 la película 104 se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula: $VPSF = A_v/V$.

En la realización de la Figura 1, el material de la película 104 incluye partículas de carbono activado, partículas de carbono conductor y aglutinante. El material tiene un factor de superficie de porosidad volumétrica superior a aproximadamente $7,5 * 10^7 \text{ m}^{-1}$. Esto significa que un electrodo con una película de material de electrodo activo que

65 tiene un $VPSF = 7,5 * 10^7 \text{ m}^{-1}$, un espesor de 150 micrómetros y un área superficial A_s de 10 por 10 centímetros tendrá un área superficial efectiva de

$$A_{ef} = A_s + A_v = (0,1 * 0,1) * (1 + 150 * 10^{-6} * 7,5 * 10^7) m^2 = 0,01 * (1 + 11,250) m^2 = 112,51 m^2,$$

muy por encima de los 100 cm² proporcionado por el área A_s de 10 por 10 centímetros.

5 La porosidad es otra medida de la eficiencia volumétrica de la película 104 al crear un área superficial expuesta a un electrolito u otro reactivo. En el presente contexto, porosidad significa macroporosidad, es decir, porosidad a gran escala definida por el volumen intersticial entre partículas. En algunas realizaciones de acuerdo con la presente invención, el material del electrodo activo tiene una porosidad de entre aproximadamente 40 y aproximadamente 80
10 partículas. En ciertas realizaciones más específicas, la porosidad del material del electrodo activo está entre aproximadamente el 50 y aproximadamente el 70 por ciento, y el tamaño de poro medio varía entre aproximadamente 1 y aproximadamente 3 micrómetros cúbicos.

15 La película 104 se puede fabricar utilizando tanto procesos conocidos como novedosos. Una forma de fabricar una película de material de electrodo activo es mediante un proceso de extrusión, que se basa en las propiedades de fibrilación de ciertos polímeros. Los polímeros utilizados en los electrodos de acuerdo con la presente invención incluyen politetrafluoroetileno (PTFE o Teflon®), polipropileno, polietileno, copolímeros y diversas mezclas de polímeros. Los polímeros actúan como una matriz para el material del electrodo activo dentro de la película.

20 Para formar la película, se mezclan en seco polvos de polímero, el material del electrodo activo, y posiblemente otros materiales en polvo. En una realización a modo de ejemplo, los polvos y las proporciones utilizadas son las siguientes: 85-90 por ciento en peso de carbono activado (el material del electrodo activo), 5-8 por ciento en peso de PTFE, y 2-10 por ciento en peso de carbono conductor (grafito, que actúa como promotor de la conducción eléctrica). Los polvos de carbono activado adecuados están disponibles de varias fuentes, incluyendo polvos
25 Nuchar® vendidos por Westvaco Corporation de Stamford, CT. Otra realización a modo de ejemplo contiene el 85-93 por ciento de carbono activado, el 3-8 por ciento de PTFE y el 2-10 por ciento de carbono conductor. Otra realización a modo de ejemplo más contiene carbono activado y PTFE, y no utiliza carbono conductor.

30 El compuesto resultante se introduce, junto con un solvente, en un extrusor para fibrilar el material mezclado, creando una película similar a la masa. En una realización, la proporción del compuesto en polvo con respecto al disolvente es de aproximadamente 80/20 en peso. La película similar a una masa se calandria una o más veces para producir la película de material de electrodo activo que tiene el espesor y la densidad deseados. Finalmente, la película similar a una masa se cuece al horno o se seca para reducir el solvente residual dentro de la película a un nivel aceptable, del orden de partes por millón.

35 Otra técnica para fabricar la película de material de electrodo activo se describe en una Solicitud de Patente de EE.UU. SN 10/817.701 Atty. Dkt. No. GEN3BAT, presentada el 02/04/04, que se incorpora por referencia en el presente documento. De acuerdo con este proceso, las partículas secas del material del electrodo activo (carbono activado) se mezclan o se combinan de otra manera con partículas aglutinantes (polímeros como el PTFE) y
40 partículas promotoras de la conducción (carbono conductor) para formar un material de polvo seco. El material en polvo seco se fibrila en seco usando técnicas de alto cizallamiento sin lubricación, que en una realización utiliza un molino de chorro, como es conocido para los expertos en la materia. Las fuerzas de cizallamiento que aparecen durante el proceso de fibrilación en seco estiran físicamente las partículas de polímero, haciendo que el polímero forme una red de fibras que unen el polímero al promotor de conducción y a las partículas activas, por ejemplo, al
45 grafito y las partículas de carbono activado. El material fibrilado seco se introduce luego en una o más líneas de contacto de alta presión, como laminadores, calandrias, prensas de cinta o prensas de placa plana para formar una película de electrodo autoportante seca. Debido a que no se utiliza líquido o solvente en este nuevo proceso, la película del electrodo está sustancialmente libre de impurezas que puedan actuar para degradar la vida útil y el rendimiento del electrodo.

50 La Figura 2 ilustra la unión de una película 204 de material de electrodo activo a una lámina de papel de aluminio 202 en una calandria 205. La película 204 y la lámina de aluminio 202 se introducen entre los rodillos 210 y 215 de la calandria 205. Nótese que la película 204 se aplica al lado de la lámina 202 que ha sido desbastada y activada, como ya se ha descrito. En la realización ilustrada, la calandria 205 está controlada por el espacio, lo que significa
55 que el espacio entre los rodillos 210 y 215 se puede ajustar a una distancia predeterminada. La calandria comprime la lámina 202 y la película 204, creando una unión de presión entre las dos capas y haciendo que las dos capas se adhieran entre sí, dando como resultado una lámina compuesta 225. En el presente documento, el espesor de la película 204 es de aproximadamente 160 y aproximadamente 180 micrómetros, y el espesor de la lámina 202 es de aproximadamente 40 micrómetros. El espacio de la calandria 205 se ajusta entre aproximadamente 110 y
60 aproximadamente 120 micrómetros. Debido a que el papel de aluminio 202 es sustancialmente incompresible, la calandria comprime la película 204 en aproximadamente un 50 por ciento. Al salir de la calandria, la película 204 se expande, de modo que la reducción más permanente en su espesor se encuentra entre aproximadamente el 5 y aproximadamente el 20 por ciento.

65 Téngase en cuenta que el adhesivo no se aplica a las superficies de la lámina 202 y la película 204 adyacentes entre sí, por lo que la interfaz entre las dos superficies está sustancialmente libre de adhesivos y las impurezas que

5 puedan comprender. En algunas realizaciones de acuerdo con la presente invención, la adhesión entre estos componentes se debe en gran medida a la unión por presión creada por la calandria, la irregularidad de la lámina 202 y el tratamiento de activación de la lámina 202. Específicamente, las protuberancias en la superficie irregular de la lámina 202 penetran en los poros de la película 204, entrelazándose con la estructura porosa de la película y mejorando la adhesión entre la película 204 y la lámina 202. De manera similar, las protuberancias en la superficie de la película 204 pueden penetrar en las picaduras sobre la superficie de la lámina 204, mejorando también la adhesión.

10 Otros procesos de acuerdo con la presente invención emplean calandrias de presión controlada. La presión aplicada a la combinación de la lámina 202 y la película 204 generalmente es superior a aproximadamente 43,78 N/mm (250 libras por pulgada lineal (PLI)). Más específicamente, la presión aplicada está entre aproximadamente 87,56 N/mm (500 PLI) y 350,25 N/mm (2000 PLI). Aún más específicamente, la presión está entre aproximadamente 113,83 N/mm (650 PLI) y 157,61 N/mm (900 PLI). En una realización, la presión aplicada es de aproximadamente 131,35 N/mm (750 PLI).

15 Para mejorar la unión de presión creada entre la lámina 202 y la película 204, se calientan uno o ambos rodillos 210 y 215. En un proceso de acuerdo con la presente invención, el rodillo 215 se calienta a aproximadamente 100 grados Celsius. En otro proceso de acuerdo con la invención, el rodillo 215 se calienta a una temperatura entre aproximadamente 100 y 300 grados Celsius.

20 La velocidad con la que la lámina 202 y la película 204 se mueven a través de la calandria 205 también se controla. En un proceso de acuerdo con la presente invención, los rodillos de la calandria tienen aproximadamente 10,16 cm (4 pulgadas) de diámetro, y producen aproximadamente 1 revolución por minuto. En otro proceso, los rodillos giran para hacer que la lámina compuesta 225 se produzca a la salida de la calandria 225 a una velocidad de aproximadamente 3 metros por minuto.

25 La lámina compuesta 225 se corta o se conforma de otro modo en electrodos compuestos de acuerdo con la presente invención, tal como el electrodo 100 de la Figura 1, y los terminales están unidos a los colectores actuales de los electrodos.

30 La Figura 3 ilustra un electrodo 300 con un colector de corriente 302 intercalado entre una primera película de material de electrodo activo 306 y una segunda película de material de electrodo activo 307. Estas películas tienen una construcción similar a la de las películas 104 y 204, que se muestran en las Figuras 1 y 2, respectivamente. De nuevo, el adhesivo no se usa para unir las películas 306 y 307 al colector de corriente 302. En cambio, ambas superficies del colector de corriente 302 se desbastan, se someten a un tratamiento de activación y luego se unen por presión a las películas 306 y 307 usando una línea de contacto de alta presión y alta temperatura, como una calandria.

35 La Figura 4 ilustra el proceso de unión por presión de láminas de película del material de electrodo activo 406 y 407 en lados opuestos de una lámina de aluminio 402. El espesor de cada lámina de película 406 y 407 es de aproximadamente 180 micrómetros, mientras que el colector de corriente 402 tiene un espesor de aproximadamente 30 micrómetros y está picado químicamente en ambos lados a una profundidad que no excede los 10 micrómetros. En ciertas realizaciones de acuerdo con la invención, el espesor de las láminas de película varía entre aproximadamente 80 y 350 micrómetros. Después del proceso de unión por presión, el espesor de las películas 406 y 407 se reduce entre aproximadamente el 5 y aproximadamente el 20 por ciento. En algunos procesos de acuerdo con la presente invención, el espesor de las películas 406 y 407 se reduce entre aproximadamente el 8 y aproximadamente el 15 por ciento. El proceso de unión por presión emplea una calandria 405 y da como resultado una capa compuesta 425, que puede cortarse o conformarse de otro modo en electrodos, como el electrodo 300 de la Figura 3.

40 La calandria 405 incluye los rodillos 410 y 415. Ambos rodillos se calientan para mejorar la unión por presión de las películas 406 y 407 al colector de corriente 402. En la calandria 405, las velocidades de alimentación de las láminas 402, 406 y 407 hasta aproximadamente 3 metros por minuto, aunque un experto en la materia reconocerá que son posibles mayores velocidades de alimentación, dependiendo de los materiales utilizados, las temperaturas de los rodillos 410 y 415, los espesores de las láminas de película 406 y 407, la presión aplicada por el calandria, fuerza de adherencia requerida, y diversos otros factores.

45 Los electrodos compuestos de acuerdo con la presente invención, por lo tanto, pueden usarse en muchas aplicaciones diferentes, incluyendo condensadores de doble capa.

50 Este documento describe los electrodos compuestos de la invención y los procesos utilizados en el curso de su fabricación con un detalle considerable solo con fines ilustrativos. Ni las realizaciones específicas de la invención en su conjunto, ni las de sus características limitan los principios generales que subyacen a la invención. En particular, la invención no se limita a los materiales específicos utilizados para fabricar los electrodos; y la unión por presión de los electrodos de la invención no se limita al uso de calandrias, sino que incluye varios dispositivos de presión. La invención tampoco está limitada al uso en condensadores de doble capa, sino que se extiende a otras aplicaciones

5 de electrodos, por ejemplo, baterías y celdas de combustible. Las características específicas descritas en el presente documento pueden usarse en algunas realizaciones, pero no en otras. Están previstas muchas modificaciones adicionales en la divulgación anterior, y los expertos en la materia apreciarán que en algunos casos se emplearán algunas características de la invención en ausencia de un uso correspondiente de otras características. Por lo tanto, los ejemplos ilustrativos no definen las medidas y los límites de la invención y la protección legal otorgada a la invención, cuya función responde a las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende:
 - 5 un colector de corriente que comprende una primera superficie y una segunda superficie; y una primera película de material de electrodo activo, comprendiendo la primera película carbono fibrilado seco y partículas aglutinantes, comprendiendo la primera película una tercera superficie adyacente a la primera superficie del colector de corriente, en donde la primera superficie está adherida a la tercera superficie, y en donde la primera película está sustancialmente libre de impurezas de disolvente;
 - 10 **caracterizado por que** la primera superficie del colector de corriente es irregular y comprende porciones que definen picaduras, en donde la mayoría de las picaduras tienen un área superficial que oscila entre 0,5 y 8 micrómetros cuadrados, midiéndose el área superficial de cada picadura a nivel medio de la primera superficie.
2. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las partículas secas de aglutinante comprenden
 - 15 partículas secas de aglutinante fibrilado.
3. Un dispositivo de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde la primera y la tercera superficies están unidas directamente entre sí sin utilizar ningún adhesivo adicional en una interfaz entre el material del electrodo activo y el colector de corriente.
 - 20
4. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la primera película de material de electrodo activo está unida al colector de corriente como una película autoportante.
5. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además una segunda
 - 25 película de material de electrodo activo, comprendiendo la segunda película una cuarta superficie adyacente a la segunda superficie del colector de corriente, estando la cuarta superficie adherida a la segunda superficie.
6. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde un factor de superficie de porosidad volumétrica de la primera película de material de electrodo activo es de $7,5 * 10^7 \text{ m}^{-1}$ o mayor, en donde el
 - 30 factor de superficie de porosidad volumétrica se define como la relación entre el área superficial del electrodo expuesto a una solución electrolítica, sin incluir un área superficial opuesta a la tercera superficie, y el volumen de la primera película de material de electrodo activo.
7. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde una macroporosidad
 - 35 volumétrica del primer material de electrodo activo está entre el 40 por ciento y el 80 por ciento.
8. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde una mayoría de los poros del primer material de electrodo activo tiene un tamaño que varía entre 1 y 3 micrómetros cúbicos.
9. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la primera superficie
 - 40 comprende porciones que definen protuberancias, en donde la mayoría de las protuberancias oscilan entre 0,5 y 5 micrómetros cuadrados, medidas a una elevación de 0,5 micrómetros desde el nivel promedio de la primera superficie.
10. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, en donde una pluralidad de protuberancias penetran en los
 - 45 poros en la tercera superficie de la primera película, haciendo que la primera superficie del colector de corriente se adhiera a la tercera superficie de la primera película.
11. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde la primera superficie del
 - 50 colector de corriente está picada químicamente.
12. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la primera superficie del colector de corriente está tratada por corona.
13. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde la primera superficie del
 - 55 colector de corriente está tratada con plasma activo.
14. Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde la primera superficie del colector de corriente está desbastada mecánicamente para hacer que la primera superficie sea desigual.
 - 60
15. Una batería que comprende el dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14.
16. Un condensador que comprende el dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14.
17. Un condensador de doble capa que comprende el condensador de acuerdo con la reivindicación 16.
 - 65

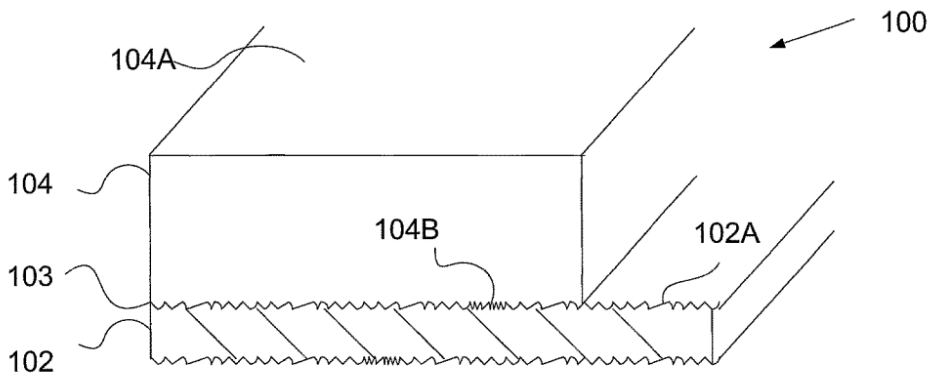


FIG. 1

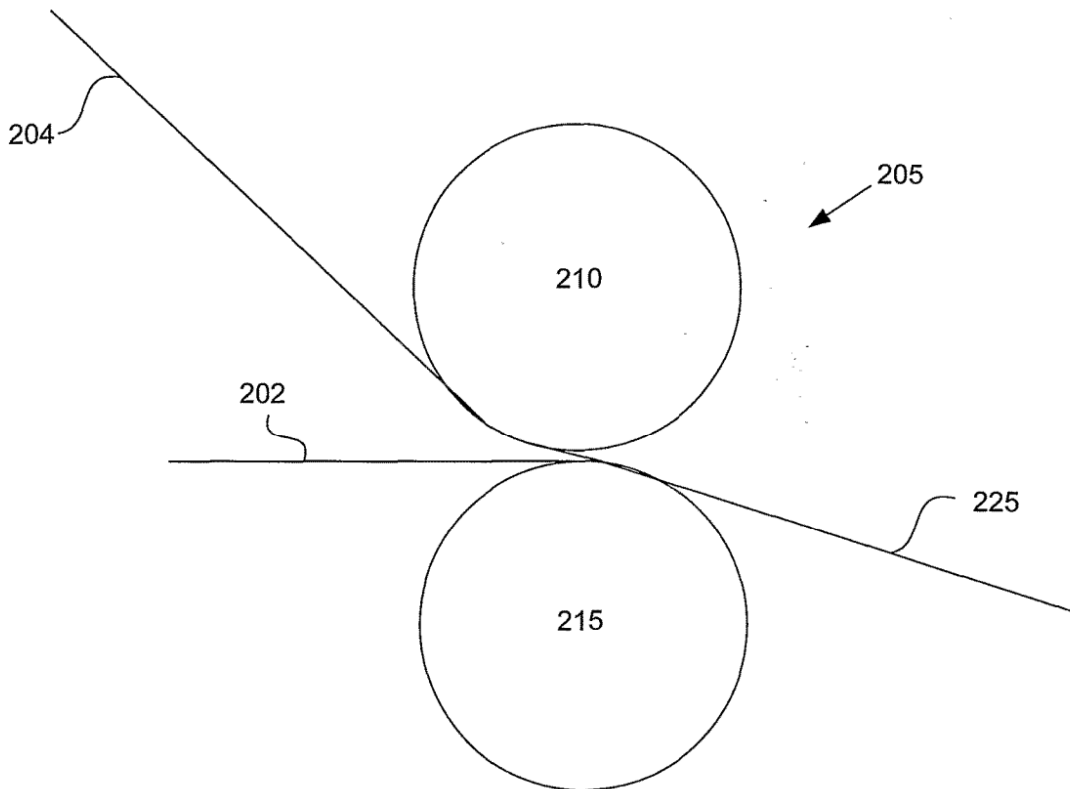


Fig. 2

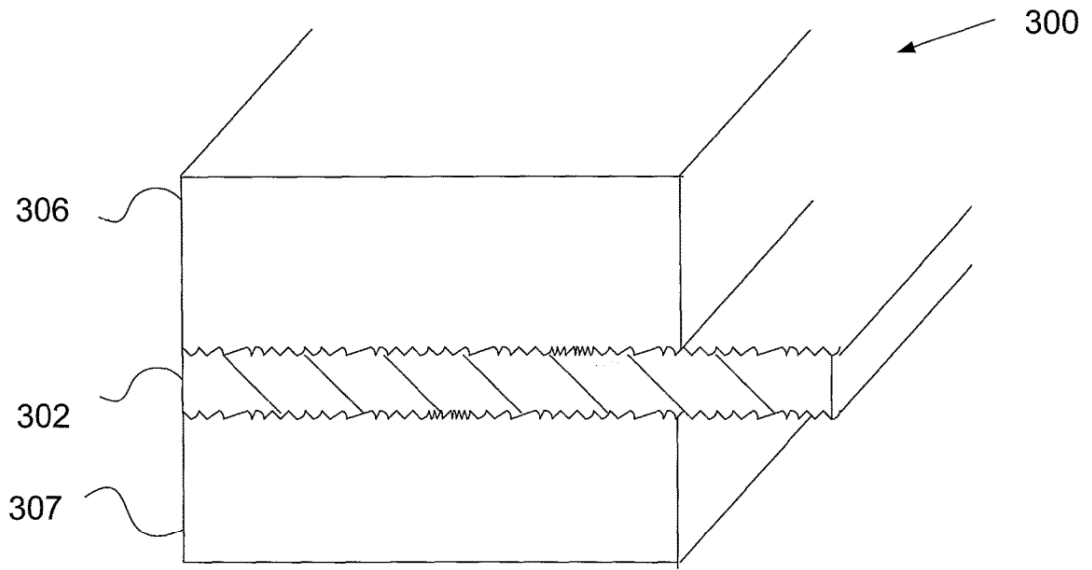


FIG. 3

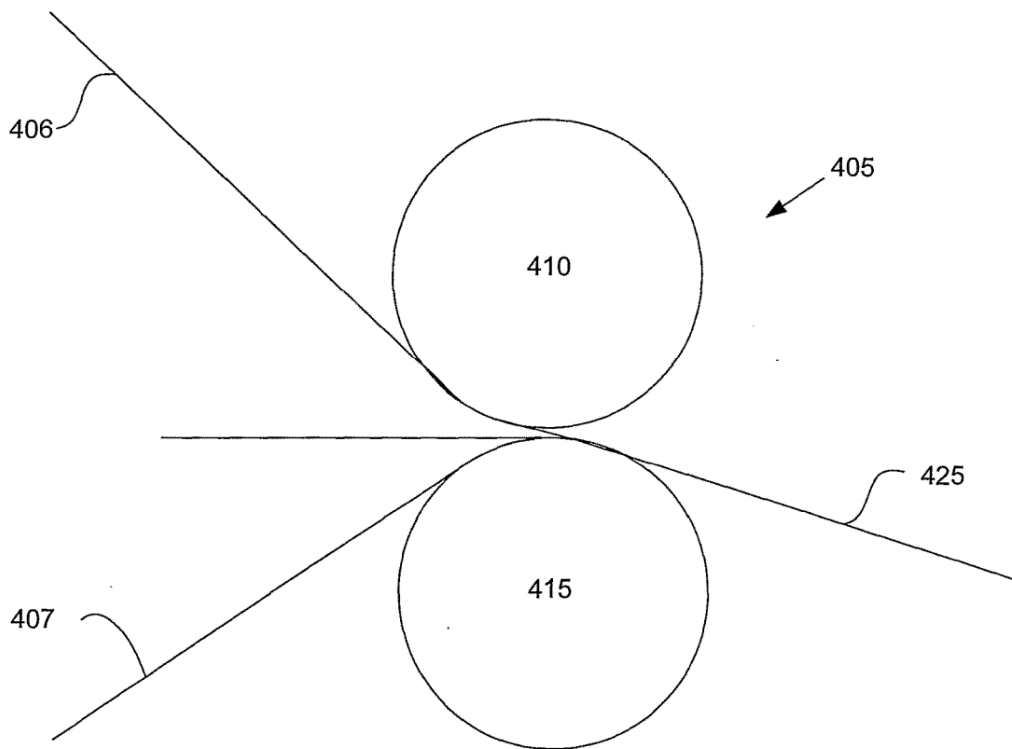


Fig. 4