

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 581**

51 Int. Cl.:

H01B 1/00	(2006.01)
H01B 1/02	(2006.01)
H01B 3/00	(2006.01)
H01B 3/04	(2006.01)
H01B 3/12	(2006.01)
H01B 3/46	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.06.2009 PCT/GB2009/050656**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2009 WO09150463**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2009 E 09762012 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 2294583**

54 Título: **Recubrimiento aislante eléctrico y método de formación del mismo**

30 Prioridad:

10.06.2008 GB 0810572

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

04.04.2019

73 Titular/es:

**TEESSIDE UNIVERSITY (100.0%)
Middlesbrough, Tees Valley
Cleveland TS1 3BA, GB**

72 Inventor/es:

**HODGSON, SIMON y
YONGXIN, PANG**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 707 581 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

Recubrimiento aislante eléctrico y método de formación del mismo.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a recubrimientos aislantes para conductores eléctricos y a un método de formación de los mismos. En particular, pero no exclusivamente, la invención se refiere a recubrimientos aislantes para conductores eléctricos usados en aplicaciones de alta temperatura.

10

Más particularmente, pero no exclusivamente, la invención se refiere a recubrimientos aislantes para conductores eléctricos que deben someterse a doblado y que son capaces de soportar temperaturas de 500 °C o más.

15 Antecedentes de la invención

15

El desarrollo de máquinas eléctricas para su uso en entornos de alta temperatura impone importantes demandas en los componentes asociados con las máquinas, incluyendo el requisito de estabilidad de los materiales a partir de los cuales se construyen los componentes. Los entornos que requieren estabilidad de recubrimientos aislantes a alta temperatura incluyen aquellos asociados con reactores nucleares y motores y generadores de aviones de última generación.

20

Además del calor de un entorno en el que se encuentra un componente, un componente puede estar sometido al calor debido a otros factores, tales como la corriente eléctrica transportada por un conductor así como otras tensiones. Por ejemplo, los cables eléctricos usados para formar devanados para motores y generadores se someten a condiciones térmicas y mecánicas particularmente severas. La integridad de los recubrimientos de dichos cables es crítica para el funcionamiento exitoso y continuo del motor o generador.

25

Una barrera importante que restringe la temperatura de operación de las máquinas eléctricas es la estabilidad térmica limitada de los materiales de aislamiento aplicados a los cables del cual se forman los devanados de las máquinas, así como la estabilidad limitada de los materiales de aislamiento aplicados a los mismos devanados. La descomposición de los materiales de aislamiento puede ocurrir a temperaturas excesivamente altas, o después de la exposición prolongada de los materiales de aislamiento a altas temperaturas.

30

El término "cable de alta temperatura" se usa convencionalmente para describir un cable aislado con un polímero tal como poliimida o politetrafluoroetileno con una temperatura de servicio limitada a aproximadamente 250 °C. Sin embargo, las nuevas aplicaciones, como las descritas anteriormente, pueden requerir material de aislamiento que pueda soportar temperaturas de 500 °C o más altas. Dichas temperaturas generalmente excluyen la posibilidad de usar polímeros orgánicos y, por lo tanto, se ha explorado el uso de materiales inorgánicos.

35

El documento US 5468557 describe un método para fabricar cable de cobre revestido de acero inoxidable recubierto con un aislante que puede ser alúmina, sílice o nitrito de aluminio. El aislante se aplica al conductor mediante anodizado iónico por plasma CVD. El grosor del aislador está limitado a alrededor de 3 a 4 µm debido a la fragilidad del material aislante, que limita el voltaje de ruptura a alrededor de 400 V.

40

El documento US 6876734 describe un conductor recubierto con una composición aislante que contiene un compuesto de zirconio y un compuesto de silicio que está recubierto con un agente de unión que comprende poliamida o poliimida. La alta proporción de material orgánico de la composición aislante imparte buenas propiedades mecánicas pero limita la temperatura de operación a un máximo de 420 °C.

45

Los documentos US 5139820, EP 0292780 y EP 0460238 describen cables conductores recubiertos con un aislante formado a partir de precursores de alcóxido, tales como el tetraetoxisilano, producido por un método de sol-gel. El documento US 5139820 describe la adición de al menos un polímero o monómero termoplástico a la mezcla para hacer el gel extruible.

50

El documento US 4942094 se refiere a un laminado de mica-resina de silicona y a un método para fabricar el mismo confeccionado de mica laminada que consta de al menos dos capas de mica, cada una de las cuales está cubierta por ambos lados por una capa de resina de silicona unida a esto por una capa de unión producida a partir de un mezcla de un compuesto de alcóxido de silicio que contiene un grupo amino y/o un derivado hidrolizado del mismo y un compuesto de silicio orgánico que contiene un grupo epoxi.

55

El documento WO9840895 se refiere a un cable eléctrico, en particular para transmisión de potencia de baja tensión o para telecomunicaciones, este cable comprende un recubrimiento que tiene propiedades de resistencia al fuego y es capaz de mantener sus propiedades de aislamiento eléctrico sin cambios cuando dicho cable está en presencia de humedad.

60

EL documento US3802913 se refiere a un sistema de curado sin presión para la reticulación química de polímeros que contienen etileno y productos formados por los mismos.

65

Declaración de la invención

En un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para fabricar un conductor eléctrico que tiene un recubrimiento aislante, el método incluye las etapas de:

5

proporcionar un conductor eléctrico;
recubrir el conductor eléctrico con al menos una capa de un material precursor aislante flexible, el material precursor comprende:

10

un primer organo-alcóxido ${}^1R_xSi(O^1R')_{4-x}$ y un segundo organo-alcóxido ${}^2R_xSi(O^2R')_{4-x}$, y un material de relleno inorgánico donde 1R es un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos 150 °C, 2R es un resto orgánico no hidrolizable que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico, ${}^1R'$ y ${}^2R'$ son radicales alquilo y x es 1 o 2.

15

En otro aspecto de la invención, se proporciona una estructura precursora para un conductor eléctrico que tiene un recubrimiento aislante que comprende:

un conductor eléctrico;

20

al menos una capa de un material aislante flexible sobre el conductor eléctrico, el material precursor comprende: un primer organo-alcóxido ${}^1R_xSi(O^1R')_{4-x}$ y un segundo organo-alcóxido ${}^2R_xSi(O^2R')_{4-x}$, y un material de relleno inorgánico, donde 1R es un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos 150 °C, 2R es un resto orgánico no hidrolizable que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico, ${}^1R'$ y ${}^2R'$ son radicales alquilo y x es 1 o 2.

25

En otro aspecto de la invención, se proporciona un conductor eléctrico que tiene un recubrimiento aislante cuando se obtiene al someter una estructura precursora de la reivindicación 14 o 15 a curado térmico.

30

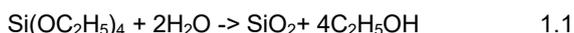
La descripción también proporciona una estructura que comprende un conductor eléctrico que tiene una capa de un material aislante provisto en ella, la capa aislante comprende partículas de relleno inorgánico unidas entre sí por medio de un material aglutinante basado en SiO_2 derivado de la descomposición de organo-alcóxidos de acuerdo con una reacción de la forma $ARSiO_{3/2} + BO_2 \rightarrow CSiO_2 + DH_2O + ECO_2$ o similar, donde A, B, C, D y E dependen de la naturaleza del precursor orgánico R.

35

Así, se proporciona un material precursor derivado de sol-gel que es un material precursor derivado de sol-gel híbrido que comprende un compuesto de organo-silano. Se entiende que un precursor de sol-gel híbrido que comprende un compuesto de organosilano es un compuesto que comprende silicio que está unido a al menos un grupo orgánico no hidrolizable y 2 o 3 grupos orgánicos hidrolizables.

40

La Fig. 5(a) muestra un ejemplo de un material de sílice sol-gel, tetraetoxisilano (TEOS). La hidrólisis de este material procede de acuerdo con la ecuación:



45

Al secarse, se produce una contracción sustancial (hasta un factor de 100 veces o más). Por lo tanto, es posible un grosor máximo de recubrimiento de solo alrededor de 1 μm por recubrimiento para evitar el agrietamiento debido a la contracción.

50

El material de sílice sol-gel se puede mezclar ("rellenar") con partículas de relleno para reducir la contracción y aumentar el grosor. Sin embargo, el material sigue siendo demasiado frágil para cumplir con los requisitos de flexibilidad de los cables recubiertos para la presente solicitud.

55

La Fig. 5(b) muestra un ejemplo de un material híbrido de organosilano sol-gel metiltrimetoxisilano (MTMS). El material experimenta hidrólisis y forma una molécula de polímero inorgánico $SiCH_3O_{3/2}$ mediante una reacción de condensación de acuerdo a la ecuación:



La hidrólisis tiene lugar antes del recubrimiento del cable, mientras que la reacción de condensación tiene lugar principalmente durante el curado del recubrimiento después del secado.

60

En algunas modalidades, el recubrimiento después del curado puede mencionarse como un gel o un compuesto de gel o un "compuesto", el recubrimiento comprende un gel que contiene partículas de relleno inorgánico.

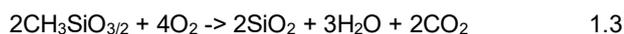
El material de relleno puede comprender partículas de un material de relleno funcional que proporciona un mecanismo de deformación secundario. Las partículas pueden ser de una forma multilaminar y morfología específica.

65

Después de curar, el cable se dobla a una configuración requerida.

La presencia en el material precursor del resto orgánico no hidrolizable adicional ²R que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico tiene la ventaja de que la resistencia del recubrimiento a la fractura cuando se dobla después del curado puede aumentar en relación con un recubrimiento que no tenga este resto orgánico. Por lo tanto, se puede proporcionar flexibilidad temporal adicional para facilitar la fabricación de devanados de bobina, etc. La reacción de este grupo funcional para formar un enlace polimérico orgánico secundario tiene lugar durante el proceso de curado y puede facilitar el desarrollo de un aumento del recubrimiento y/o la resistencia de la unión interfacial.

Posteriormente, durante un calentamiento adicional a alrededor de 500 °C (que puede tener lugar en un horno o en servicio), tiene lugar la siguiente reacción, en donde se elimina el grupo orgánico y se forma SiO₂:



Por debajo de 500 °C, el material hidrolizado sigue siendo capaz de deformarse en cierta medida sin agrietarse, y ciertamente es deformable en mayor medida que el TEOS de sol-gel hidrolizado.

Debe entenderse que durante la cocción, el polímero orgánico formado por los restos ²R puede descomponerse. Típicamente, esto no es un problema ya que el doblado del cable recubierto por el recubrimiento se produce después del curado del recubrimiento, es decir, después de la reacción de los restos orgánicos no hidrolizables ²R para formar un polímero orgánico, y antes del calentamiento del polímero a temperaturas en servicio. Así, el polímero orgánico está presente cuando se realiza el doblado del cable.

Algunas modalidades de la invención tienen la ventaja de que no se requiere que se añada material polimérico separado al material sol-gel para proporcionar un recubrimiento flexible después del curado, ya que se puede formar un polímero orgánico directamente dentro del material. Esto se debe a que el material sol-gel tiene el segundo organo-alcóxido que porta el resto orgánico ²R.

Debido a que el polímero orgánico se forma así, se encuentra que está íntimamente mezclado con el recubrimiento después del curado. Por lo tanto, un grado en el cual los dominios relativamente grandes de este polímero se reducen durante el curado en relación con un proceso en el cual la mezcla de un material polimérico formado separadamente con un material sol-gel que no tiene el segundo organo-alcóxido que porta el resto orgánico ²R se realiza antes de la aplicación del recubrimiento.

Esto tiene la ventaja de que el tamaño de los huecos formados en la estructura cuando el polímero se descompone a alta temperatura se reduce considerablemente. En algunas modalidades, la estructura de poros puede colapsarse y sellarse en condiciones apropiadas, preservando así la integridad eléctrica de una capa aislante formada a partir de este material.

Algunas modalidades de la invención proporcionan un cable aislado que es capaz de deformarse y doblarse significativamente sin daño para facilitar el devanado y el ensamblaje de bobinas en la forma fabricada, y también es capaz de proporcionar un aislamiento eléctrico sostenido después del tratamiento térmico a una temperatura en exceso de 500 °C.

Preferentemente ¹R y ²R son radicales orgánicos que contienen de 1 a 18 átomos de carbono.

Preferentemente ¹R' y ²R' son radicales alquilo que contienen de 1 a 4 átomos de carbono.

Más preferentemente ¹R es uno seleccionado entre un grupo alquilo, un grupo fluoroalquilo y un grupo arilo.

²R puede ser uno seleccionado entre un grupo epoxi, un grupo trifluoropropilo, un grupo cloropropilo, un grupo aminopropilo, un grupo feniletilo, un grupo acrililoioxipropilo, un grupo metacrililoioxipropilo y un grupo glicidiloioxipropilo.

La etapa de proporcionar una capa de un material precursor sobre el conductor eléctrico puede comprender la etapa de:

proporcionar una mezcla que comprende el primer y segundo organo-alcóxidos, un catalizador ácido y un disolvente; e hidrolizar los organo-alcóxidos.

La etapa de proporcionar una capa de un material precursor puede comprender la etapa de calentar el material. La etapa de calentamiento del material puede disponerse para provocar la reacción de los grupos ²R para formar el polímero orgánico. El calentamiento también puede disponerse para provocar la condensación de especies de organosilano hidrolizado, formando así un polímero inorgánico. La etapa de calentamiento del material puede ser referida como un proceso de "curado".

El material de relleno inorgánico puede comprender al menos uno seleccionado entre alúmina, titania y zirconia.

Preferentemente, el material de relleno inorgánico comprende un material que tiene una estructura en capas, el material se selecciona opcionalmente entre vermiculita, mica y caolinita.

5 En algunas modalidades de la invención, se puede usar cualquier material cerámico en partículas, sin embargo, en la modalidad preferida, se usa silicato o minerales similares con una estructura de cristal de tipo capa, que tiene una unión entre capas relativamente débil, como un componente significativo del relleno.

10 Dichos minerales en capas se prefieren como partículas de relleno debido a su capacidad para separarse fácilmente en láminas aislantes delgadas que permiten reducir el grosor del recubrimiento. Además, las partículas imparten una resistencia dieléctrica mejorada y proporcionan una flexibilidad mecánica mejorada al recubrimiento. Esta flexibilidad mecánica mejorada se debe, al menos en parte, a la capacidad de las partículas para deslizarse unas sobre otras cuando se dobla el recubrimiento.

15 El uso de tales partículas de relleno en combinación con el aglutinante derivado de sol-gel permite lograr un recubrimiento de aislamiento con un voltaje de ruptura superior a 1000 V con un grosor de recubrimiento de aproximadamente 20 micras después del tratamiento térmico a una temperatura superior a 500 °C. Las propiedades mecánicas del recubrimiento impartido por la composición le permiten doblarse a un radio de menos de 4 mm sin daños en la condición en que se aplica a un conductor sin dañarse.

20 El material de relleno inorgánico puede comprender un material que tiene una dureza de sustancialmente 3 o menos en la escala de dureza de Mohs. Otros valores de dureza superiores a 3 también son útiles.

La capa de material precursor puede comprender una pluralidad de capas componentes.

25 La capa de material precursor puede comprender una primera capa de componente que tiene un primer diámetro promedio y una segunda capa de componente que tiene un segundo diámetro promedio, el primer diámetro promedio es más pequeño que el segundo diámetro promedio.

30 Opcionalmente, la primera capa de componente no comprende material de relleno inorgánico y la segunda capa de componente si comprende material de relleno inorgánico.

Alternativamente, la primera y la segunda capa de componentes pueden comprender cada una material de relleno inorgánico.

35 La primera y segunda capas de componentes pueden comprender cada una proporciones respectivas diferentes del material de relleno inorgánico en por ciento en peso.

Opcionalmente la primera capa comprende grupos ¹R y sustancialmente no grupos ²R.

40 Alternativamente, la primera capa puede comprender grupos ¹R y grupos ²R.

La primera capa puede comprender una mayor proporción de grupos ¹R que de grupos ²R.

45 Alternativamente, primera capa puede comprender una mayor proporción de grupos ²R que de grupos ¹R.

La segunda capa puede comprender grupos ¹R y grupos ²R.

La segunda capa puede comprender una mayor proporción de grupos ¹R que de grupos ²R.

50 Alternativamente, la segunda capa puede comprender una mayor proporción de grupos ²R que de grupos ¹R.

La primera capa puede tener un grosor en el intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 40 μm, opcionalmente de alrededor de 5 a alrededor de 25 μm, preferentemente de alrededor de 5 a alrededor de 15 μm.

55 La segunda capa puede tener un grosor en el intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 40 μm, preferentemente de alrededor de 10 a alrededor de 30 μm.

Se pueden proporcionar una o más capas adicionales además de la primera capa y la segunda capa.

60 La capa precursora puede comprender una tercera capa de componentes, la segunda capa de componentes está prevista entre la tercera capa de componentes y la primera capa de componentes.

65 Una proporción relativa de grupos ¹R y grupos ²R en la primera, la segunda y la tercera capa de componentes se dispone para variar en función de la distancia promedio de la capa de componentes respectiva del cable.

- 5 En algunas modalidades, la tercera capa contiene una mayor proporción de grupos ²R con respecto a los grupos ¹R que la segunda capa. En algunas modalidades, la segunda capa a su vez contiene una mayor proporción de grupos ²R con respecto a los grupos ¹R que la primera capa. Como se discutió anteriormente, la primera capa puede que no contenga sustancialmente ningún grupo ²R.
- 10 Una relación de grosores de la primera capa de componentes: segunda capa de componentes: tercera capa de componentes puede ser de alrededor de 1:3:2. En algunas modalidades, la relación es sustancialmente 1:2:3. Otras relaciones también son útiles.
- 15 El conductor eléctrico puede comprender un miembro de cable.
- El miembro de cable puede comprender al menos uno seleccionado entre níquel, cobre, cobre recubierto de níquel, cobre recubierto de plata, acero inoxidable y cable de invar.
- 20 La capa de material precursor puede comprender de 1 a 30 por ciento en masa de dichas partículas de relleno inorgánico que tienen un diámetro medio de partícula entre aproximadamente 0,01 y 10 micras; y 30 a 95 por ciento en masa de disolventes orgánicos.
- Preferentemente, al menos una porción de la capa del material precursor se forma al pasar el conductor a través de un baño de material precursor.
- Esto tiene la ventaja de que se puede obtener un recubrimiento uniforme de una manera relativamente rápida.
- 25 Preferentemente, el conductor eléctrico se recubre con material precursor de una manera sustancialmente continua.
- Esto tiene la ventaja de que el método es compatible con los procesos de fabricación industrial a gran escala.
- 30 El método puede comprender además la etapa de someter la estructura a un proceso de secado mediante el cual se elimina una cantidad de disolvente de la capa.
- El método comprende preferentemente la etapa de someter la estructura a un proceso de curado por el cual la estructura se calienta a una temperatura en el intervalo de alrededor de 150 °C a alrededor de 350 °C, opcionalmente de alrededor de 200 °C a alrededor de 350 °C, además opcionalmente de alrededor de 220 °C hasta alrededor de 320 °C.
- 35 El método puede comprender además la etapa de cocción de la estructura a una temperatura de alrededor de 350 °C a alrededor de 800 °C.
- 40 ¹R puede seleccionarse para que sea un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos 200 °C, preferentemente una temperatura entre 200 °C y 500 °C, opcionalmente una temperatura entre 300 °C y 500 °C.
- 45 ²R puede ser un resto orgánico no hidrolizable que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico mediante uno seleccionado entre polimerización, copolimerización y policondensación.
- En la presente descripción se describe una estructura que comprende:
- 50 un conductor eléctrico;
una capa de un material aislante flexible sobre el conductor eléctrico, el material comprende:
- un primer organo-alcóxido ${}^1R_xSi(O^1R')_{4-x}$ y un segundo organo-alcóxido ${}^2R_xSi(O^2R')_{4-x}$,
donde ¹R es un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos 150 °C, ²R es un resto orgánico no hidrolizable que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico, ¹R' y ²R' son radicales alquilo y x es 1 o 2; y
55 un material de relleno inorgánico.
- Preferentemente ¹R y ²R son radicales orgánicos que contienen de 1 a 18 átomos de carbono.
- 60 Preferentemente ¹R' y ²R' son radicales alquilo que contienen de 1 a 4 átomos de carbono.
- ¹R puede ser uno seleccionado entre un grupo alquilo, un grupo fluoroalquilo y un grupo arilo.
- 65 ²R puede ser uno seleccionado entre un grupo epoxi, un grupo trifluoropropilo, un grupo cloropropilo, un grupo aminopropilo, un grupo feniletilo, un grupo acrililoioxipropilo, un grupo metacrililoioxipropilo y un grupo glicidiloioxipropilo.

Breve descripción de las figuras

Las modalidades de la invención se describirán ahora con referencia a las figuras adjuntas en las cuales:

- 5 La figura 1 es un diagrama esquemático de un proceso de formación de un cable aislado de acuerdo con una modalidad de la invención;
- La figura 2 es un diagrama esquemático de un cable aislado de acuerdo con una modalidad de la invención;
- 10 La figura 3 muestra una vista en sección transversal del cable de la figura 2 en una condición doblada;
- La figura 4 muestra un proceso mediante el cual se forma una capa precursora de nanocompuesto híbrido orgánico-inorgánico y posteriormente se calienta a temperatura elevada; y
- 15 La figura 5 muestra (a) un ejemplo de un material que contiene sílice sol-gel, tetraetoxisilano (TEOS) y (b) un ejemplo de un material híbrido de organosilano sol-gel metiltrimetoxisilano (MTMS).

Descripción Detallada

- 20 En una modalidad de la invención, se produjo un cable eléctrico que tiene un recubrimiento de aislamiento cerámico mediante las etapas del proceso ilustradas esquemáticamente en la Fig. 1. En esta modalidad, el cable eléctrico se forma de cobre recubierto de níquel. Otros materiales también son útiles, incluyendo cobre, níquel, hierro, acero inoxidable, cobre recubierto de plata y cables de aleación como el cable de Invar.
- 25 Se produjeron dos formulaciones de capa aislante diferentes, una formulación aislante de capa base y una formulación aislante de capa superior. La formulación del aislante de la capa base se aplicó a un miembro de cable 10 que no tiene un recubrimiento (figura 2) para formar una capa aislante base 12. La formulación aislante de la capa superior se aplicó a la capa aislante base 12 para formar una capa aislante superior 14.
- 30 En algunas modalidades de la invención, la formulación aislante de la capa base y la formulación aislante de la capa superior comprenden:
- (a) 5 a 40 por ciento en masa de un material sol-gel híbrido que comprende un primer organo-alcóxido ${}^1\text{R}_x\text{Si}(\text{O}^1\text{R}')_{4-x}$ y un segundo organo-alcóxido ${}^2\text{R}_x\text{Si}(\text{O}^2\text{R}')_{4-x}$, donde ${}^1\text{R}$ es un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos 150 °C, ${}^2\text{R}$ es un resto orgánico no hidrolizable que contiene grupos funcionales que pueden reaccionar para formar un polímero orgánico, ${}^1\text{R}'$ y ${}^2\text{R}'$ son radicales alquilo y x es 1 o 2;
- 35 (b) 0 a 30 por ciento en masa de partículas de relleno inorgánico de alta constante dieléctrica que tienen un diámetro promedio de partícula entre alrededor de 0,01 y 10 micras; y
- 40 (c) 30 a 95 por ciento en masa de disolventes orgánicos,
- seleccionados de manera que las proporciones de (a), (b) y (c) sumen sustancialmente el 100 por ciento en masa.
- 45 La formulación se muestra esquemáticamente en la Figura 4(a) en la que se observan partículas de relleno inorgánico 181 suspendidas en una mezcla que comprende los productos hidrolizados y/o parcialmente hidrolizados 183 del primer y segundo organo-alcóxidos y disolventes. La formulación se aplica al cable y se cura. Durante el proceso de curado, tiene lugar la condensación de los productos 183 para formar el polisiloxano que contiene el resto orgánico, que también puede mencionarse como un polímero inorgánico.
- 50 Además la polimerización de los grupos funcionales del resto orgánico no hidrolizable ${}^2\text{R}$ tiene lugar durante el curado para formar un polímero orgánico.
- Debe entenderse que las partículas de relleno inorgánico se seleccionan ventajosamente para tener una estructura en capas característica para proporcionar un aislamiento y una flexibilidad mejorados del recubrimiento.
- 55 El cable es típicamente un cable de cobre recubierto con níquel, el níquel proporciona un sustrato adecuado para el recubrimiento. La deposición directamente sobre el cobre puede resultar en una mala adhesión del recubrimiento al cable debido a la oxidación de la superficie del cable de cobre.
- 60 Durante el proceso de curado, las partículas de un nanocompuesto híbrido orgánico-inorgánico 185 se forman como se muestra en la Figura 4(b). El término 'nano' se refiere a un tamaño de las moléculas híbridas así formadas.
- 65 El nanocompuesto híbrido 185 comprende polisiloxano que contiene un resto orgánico, donde una parte de los restos orgánicos está en forma de polímero orgánico formado a partir de los grupos funcionales asociados con el segundo

organo-alcóxido. En algunas modalidades, las partículas del nanocompuesto 185 se aglomeran para formar aglomerados más grandes de partículas 186.

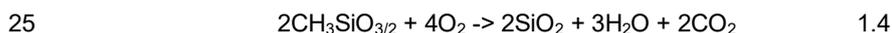
5 Las partículas de nanocompuesto 185 forman puentes entre las partículas de relleno inorgánico 181 durante el proceso de curado como se describió anteriormente y se ilustra en la Figura 4(b).

La presencia de las partículas de polímero orgánico 186 facilita la unión y el deslizamiento de las plaquetas, lo que otorga flexibilidad al recubrimiento y aumenta la resistencia del recubrimiento a la fractura.

10 En algunas modalidades, el nanocompuesto 185 se aglomera para formar una matriz continua durante el curado, con las partículas de relleno inorgánico 181 dispersas en su interior.

15 Posteriormente, ya sea en una etapa de procesamiento adicional o en servicio, el cable se calienta (en algunas modalidades, esto puede describirse como un proceso de "cocción") a una temperatura en el intervalo de alrededor de 150° a alrededor de 500 °C y el polímero orgánico se descompone ('se quema'). Así tiene lugar la desgasificación. En algunas modalidades, al menos algunos restos orgánicos del primer alcóxido orgánico permanecen después de la cocción, dependiendo de la temperatura a la cual la estructura se ha calentado durante la cocción. La presencia de los restos orgánicos aumenta un coeficiente de expansión térmica de la estructura, de manera que el coeficiente de expansión térmica coincide más estrechamente con el del cable subyacente al recubrimiento. En el caso de que el primer organo-alcóxido consista en o comprenda MTMS, los restos orgánicos pueden ser grupos metilo.

20 Durante la cocción a una temperatura superior a 500 °C, tiene lugar la siguiente reacción, en la que SiO₂ 187 se forma usando ¹R = CH₃ como ejemplo:



30 Así, SiO₂ 187 (Figura 4 (c)) permanece después de la cocción, el material se dispone para formar puentes entre las partículas de relleno inorgánico como se muestra en la figura. El uso de partículas de relleno que tienen una estructura en capas ofrece resistencia a la fractura incluso en ausencia de polímero, ya que las partículas son capaces de experimentar deformación interior/deslizamiento para aliviar las tensiones a las que pueden estar sometidas las partículas sin fractura.

Ejemplo 1 - formulación de la capa aislante de base

35 En la formulación de la capa base, la composición se optimiza de manera que después del curado la capa tiene un contenido de polímero más bajo que el de una capa sobre la capa base. Esta característica permite una reducción en la cantidad de contracción de la capa base y en la cantidad de gas que se desprende durante el calentamiento después del curado, lo que normalmente ocurre a temperaturas mucho más altas en servicio. La contracción y el desprendimiento del gas (desgasificación) inhiben de otro modo la unión efectiva de la capa base al cable y/o de la capa base a una capa sobre la capa base.

40 Debe entenderse que el contenido orgánico reducido de la capa base reduce simultáneamente la flexibilidad de la capa base. Por lo tanto, en algunas modalidades, el grosor de la capa base debe controlarse de manera precisa (típicamente dentro de unas pocas micras) para permitir que se obtengan las propiedades mecánicas necesarias.

45 En la etapa 101B (Figura 1) se produjo un sol nano-compuesto híbrido mezclando un alcoxi-silano (54,4 g de metiltrimetoxisilano, MTMS) con un catalizador ácido (0,8 g de ácido fosfomolibdico) y una mezcla de disolventes (16 g de diacetona alcohol, 8 g de tolueno y 14,4 g de agua). Los componentes se agitaron en un matraz a 65 °C durante 5 horas.

50 Otros catalizadores son útiles en lugar de, o además del ácido fosfomolibdico, que incluyen, pero no se limitan a ácido fosfórico, ácido bórico, ácido tungstico, ácido fosfotungstico y ácido molibdico. En general, para formar formulaciones aislantes de acuerdo con algunas modalidades de la invención, el catalizador se selecciona sobre la base de que éste pueda convertirse en un óxido después del calentamiento a alta temperatura. El catalizador también puede impartir una función de flujo para ayudar a sellar la porosidad durante el tratamiento térmico.

55 En la etapa 102B se mezcló un material de relleno inorgánico (11,5 g de vermiculita) con un aditivo (0,2 g de ácido acético) y 27 g de un disolvente mixto (42,5% de alcohol de diacetona, 42,5% de tolueno y 15% de isopropanol). La composición resultante se trituro en un molino de bolas durante 24 horas para formar una pasta dieléctrica.

60 El sol nanocompuesto híbrido y la pasta dieléctrica se mezclaron posteriormente (etapa 103B) y se trituro en un molino de bolas (etapa 104B) durante otras 24 horas para formar una formulación aislante de base en forma de un sol-gel.

Ejemplo 2 - formulación aislante de capa superior

65 En la etapa 101T (Figura 1) se produjo un sol nano-compuesto híbrido mezclando un alcoxisilano (43,5 g de MTMS, 18,9

ES 2 707 581 T3

g de glicidiloxipropiltrimetoxisilano, GPTMS), un catalizador ácido (0,8 g de ácido fosfomolibdico) y un disolvente mixto (16 g de diacetona alcohol, 8 g de tolueno y 14,4 g de agua).

5 Los componentes se agitaron en un matraz a 65 °C durante 8 horas, seguido de agitación a temperatura ambiente durante 24 horas para formar un sol nanocompuesto híbrido.

10 En la etapa 102T un material de relleno inorgánico (16,3 g de vermiculita) se mezcló con un aditivo (0,27 g de ácido acético) y 38 g de un disolvente mixto 38 g (57 % de diacetona alcohol, 43 % de tolueno). La composición resultante se trituró en un molino de bolas durante 24 horas para formar una pasta dieléctrica.

El sol nanocompuesto híbrido y la pasta dieléctrica se mezclaron posteriormente y se trituraron en un molino de bolas durante otras 24 horas para formar la formulación aislante de la capa superior en forma de sol-gel.

15 En una modalidad de la invención, un cable de cobre niquelado se somete a una etapa de recubrimiento en la cual el cable se recubre con una formulación aislante de capa base al pasar el cable a través de un baño de la formulación. En algunas modalidades, el cable se somete a la etapa de recubrimiento mediante el uso de un sistema automatizado de recubrimiento de bobina a bobina que tiene una etapa de secado y una etapa de curado. Por lo tanto, se pueden formar longitudes continuas de cables aislados.

20 El propósito de la etapa de secado es eliminar el exceso de disolvente del recubrimiento. En algunas modalidades, en la etapa de secado, el cable recubierto pasa a través de un túnel en presencia de un contraflujo de aire caliente.

25 El propósito de la etapa de curado es, al menos en parte, expulsar el residuo de disolvente restante del cable recubierto. La etapa de curado implica calentar el cable recubierto seco a una temperatura prescrita durante un período de tiempo prescrito para aumentar la resistencia mecánica del recubrimiento como se describió anteriormente. Después de la etapa de curado, el cable recubierto normalmente se puede manipular y enrollar sin dañar el recubrimiento.

30 El cable recubierto se puede usar para fabricar un devanado u otro artículo, antes de someterlo a calentamiento a una temperatura de alrededor de 350 °C a alrededor de 800 °C. El proceso de cocción elimina los componentes orgánicos presentes en el recubrimiento y da como resultado el completamiento de la reacción de policondensación de la capa precursora. En algunas modalidades, la cocción del cable se realiza en un horno. En algunas modalidades alternativas, la cocción no se realiza en un horno. En su lugar, la eliminación de los componentes orgánicos y/o la policondensación adicional puede ocurrir durante el servicio del cable recubierto.

35 En algunas modalidades, la etapa de secado implica la etapa de hacer fluir aire caliente sobre el cable recubierto a una temperatura de alrededor de 60 °C. Otras temperaturas también son útiles. Otros métodos de secado también son útiles.

40 En algunas modalidades, la etapa de curado implica la etapa de calentar el cable a una temperatura de alrededor de 220 °C a alrededor de 320 °C.

45 En algunas modalidades, el cable de cobre recubierto de níquel tiene un diámetro de alrededor de 1,2 mm y la etapa de recubrimiento implica la formación de un recubrimiento aislante base alrededor del cable que tiene un grosor de alrededor de 18 micras. En algunas modalidades, el cable se somete más de una vez a la etapa de recubrimiento para construir una capa aislante base 12 de un grosor requerido.

Otros grosores de la capa aislante base 12 también son útiles. También son útiles otros diámetros del cable de cobre recubierto de níquel. Otros materiales también son útiles para formar el cable.

50 Una vez que la capa aislante base 12 se ha formado sobre el miembro de cable 10, la capa aislante superior 14 se forma sobre la capa aislante base de una manera similar. En algunas modalidades, el proceso de secado y curado en dos etapas se realiza de una manera similar a la descrita anteriormente, excepto que la etapa de curado implica la etapa de calentar el cable a una temperatura en el intervalo de alrededor de 180 °C a alrededor de 260 °C. Otros intervalos de temperatura también son útiles.

55 En algunas modalidades, la capa aislante base tiene un grosor de alrededor de 18 micras y la capa aislante superior tiene un grosor de alrededor de 12 micras. En algunas de esas modalidades y en algunas otras modalidades, un miembro de cable que tiene una capa aislante base y una capa aislante superior como se describió se puede doblar alrededor de un mandril de manera que se pueda formar una curva que tenga un radio interno de 5 mm o menos sin dañar el recubrimiento. Un cable de este tipo puede soportar temperaturas superiores a 500 °C con un voltaje de ruptura después de la cocción a 500 °C que es mayor que 1100 voltios.

60 En los ejemplos descritos anteriormente y en algunas otras modalidades de la invención que tienen dos o más recubrimientos de material aislante, una capa de aislante provista sobre otra capa de aislante (es decir, una capa exterior de los dos) se dispone para que tenga una flexibilidad incrementada en relación con una capa debajo de esa capa (es decir, una capa interior de los dos). Esto se debe a que para un radio de curvatura dado del conductor, las partes de la

capa exterior experimentarán un esfuerzo de compresión o tracción de mayor magnitud que las partes correspondientes de la capa interior y, por lo tanto, estarán sujetas a una mayor cantidad de deformación por tracción o compresión.

5 Este fenómeno se ilustra en la Figura 3. En la Figura 3, el miembro de cable conductor 10 de la Figura 2 se muestra con una parte P que tiene una curva formada en ella. La capa base 12 y la capa superior 14 se doblan de una manera correspondiente. Debe entenderse que, con respecto al radio de doblado R de la parte P del miembro de cable conductor 10. Una región radialmente exterior 14A de la capa superior 14 se somete a una mayor cantidad de deformación por tracción que una región radialmente exterior 12A de la capa base 12. De manera similar, una región radialmente interior 14B de la capa superior 14 se somete a una mayor cantidad de deformación por compresión que una región radialmente interior 12B de la capa base 12.

Si el cable está torcido, se entenderá que la cantidad de deformación de una capa dada debida a la torsión también aumentará como una función de la distancia radial de una capa dada del miembro 10 de cable.

15 Para acomodar la diferencia en las deformaciones por de tracción, compresión y otras (como las deformaciones por cizallamiento) entre las capas exterior e interior del aislante, en algunas modalidades de la invención, las cantidades relativas de un grupo R dado asociado con una capa dada cambian como una función de posición radial de la capa.

20 Por lo tanto, en algunas modalidades, una mayor cantidad de segundo alcóxido (que porta restos orgánicos ²R) se proporciona en la formulación usada para proporcionar una capa superior del recubrimiento en relación con la cantidad de primer alcóxido (que porta restos orgánicos ¹R) usada para formar una capa inferior del recubrimiento.

25 En algunas modalidades, se proporciona una cantidad incrementada de un grupo R de mayor tamaño en relación con la cantidad de un grupo R de menor tamaño en una capa dada para aumentar la flexibilidad de esa capa. Por lo tanto, la presencia de cantidades crecientes de un grupo R más grande en relación con la cantidad de un grupo R más pequeño puede proporcionarse en una capa dada, aumentando la cantidad para capas sucesivas desde una capa interior hacia el exterior.

30 En los ejemplos anteriores, la capa base 12 (ejemplo 1) se forma para tener un silano que tiene solamente el grupo R más pequeño (grupo metilo), ya que se forma mediante el mezclado de un alcoxi-silano que es MTMS con un catalizador ácido y disolvente.

35 La capa superior 13 (Ejemplo 2) (o segunda capa) se forma para tener un silano que comprende una cantidad de un grupo R más grande, tal como glicidiloxipropilo. En el ejemplo 2, la segunda capa tiene alrededor de 25 % molar de los grupos metilo sustituidos por grupos glicidiloxipropilo. En otras palabras, los grupos R son proporcionados por una mezcla de alrededor de 75 % molar de MTMS y 25 % molar de GPTMS.

40 En algunas modalidades se proporciona una tercera capa. En algunas modalidades, la tercera capa tiene una proporción mayor de grupos glicidiloxipropilo en comparación con la segunda capa. En algunas modalidades, los grupos R de la tercera capa se forman a partir de una mezcla que comprende alrededor de 40 % molar de GPTMS y 60 % molar de MTMS.

45 En algunas modalidades, se usa una mezcla que contiene grupos R incluso más grandes. En algunas modalidades, la mezcla de grupos R contiene metacrililoxipropilo. En algunas de tales modalidades, la mezcla de grupos R en la segunda o tercera capa contiene alrededor de 75 % molar de MTMS y 25 % molar de metacrililoxipropiltrimetoxisilano.

50 De esta manera, se puede formular un espectro de materiales de recubrimiento y aplicarlos a los conductores para formar una estructura de aislamiento con capas que tienen una flexibilidad mecánica que aumenta como una función de la distancia radial de las capas respectivas desde un conductor central.

En algunas modalidades, el grosor de la capa aislante base 12 está en el intervalo de alrededor de 2 a alrededor de 25 μm , preferentemente en el intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 15 μm .

55 En modalidades que tienen tres capas, el grosor de una capa intermedia que es una capa entre la capa base y la capa superior puede formarse con un grosor en el intervalo de alrededor de 6 a alrededor de 40 μm , preferentemente en el intervalo de alrededor de 15 a alrededor de 30 μm . La capa superior se puede formar con un grosor en el intervalo de alrededor de 5 a alrededor de 30 μm , preferentemente de alrededor de 10 a alrededor de 20 μm . La relación entre el grosor de la capa base y la capa intermedia y la capa superior es preferentemente de alrededor de 1:3:2. También son útiles otras relaciones, tales como 1:2:3 o cualquier otra relación adecuada.

60 Ejemplo 3

65 En una modalidad que tiene una capa aislante que comprende tres capas componentes, el recubrimiento de la capa base comprende 70 % en peso de sol nanocompuesto fabricado a partir de MTMS y 30 % en peso de relleno particulado. La capa intermedia comprende 40 % en peso de relleno particulado y 60 % en peso de sol nanocompuesto hecho de 80 % molar de MTMS y 20 % molar de GPTMS. La capa superior comprende 40 % en peso de relleno particulado y 60 % en

peso de sol nanocompuesto hecho de 70 % molar de MTMS, 20 % molar de GPTMS y 10 % molar de metacrililoiloxipropiltrimetoxisilano. Debe entenderse que las proporciones relativas de los diferentes constituyentes de las tres capas pueden variar para optimizar las propiedades de los recubrimientos para una aplicación dada.

5 En algunas modalidades, una sección transversal de un cable eléctrico es generalmente circular y se puede definir fácilmente un diámetro o radio del cable. En algunas modalidades, la sección transversal no es circular y, en cambio, puede tener cualquier forma adecuada que incluya una forma generalmente cuadrada, oblonga, elíptica o cualquier otra. Debe entenderse que en tales modalidades, un radio o diámetro promedio puede definirse como una distancia promedio de una superficie exterior del cable desde un centroide de la sección transversal, o cualquier otra posición de referencia
10 adecuada.

A través de toda la descripción y reivindicaciones de esta descripción, las palabras "comprende" y "contiene" y las variaciones de las palabras, por ejemplo "que comprende" y "comprende", significan "que incluyen pero no se limitan a", y no se pretende excluir (y no se excluyen) otros restos, aditivos, componentes, números enteros o etapas.

15 A través de toda la descripción y reivindicaciones de esta descripción, el singular abarca el plural a menos que el contexto requiera otra cosa. En particular, donde se use el artículo indefinido en la descripción, se entiende que contempla los plurales así como los singulares, a menos que el contexto requiera otra cosa.

20 Los rasgos, números enteros, características, compuestos, restos químicos o grupos descritos junto con un aspecto particular, modalidad o ejemplo de la invención se entiende que son aplicables a cualquier otro aspecto, modalidad o ejemplo descrito en la presente descripción a menos que sea incompatible con estos.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Reivindicaciones

- 5 1. Un método para fabricar un conductor eléctrico que tiene un recubrimiento aislante, el método incluye las etapas de:
- proporcionar un conductor eléctrico;
recubrir el conductor eléctrico con al menos una capa de un material precursor aislante flexible, el material precursor comprende:
- 10 un primer organo-alcóxido ${}^1R_xSi(O{}^1R')_{4-x}$ y un segundo organo-alcóxido ${}^2R_xSi(O{}^2R')_{4-x}$, y un material de relleno inorgánico
donde 1R es un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos $150\text{ }^\circ\text{C}$, 2R es un resto orgánico no hidrolizable que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico, ${}^1R'$ y ${}^2R'$ son radicales alquilo y x es 1 o 2.
- 15 2. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, en donde 1R y 2R son radicales orgánicos que contienen de 1 a 18 átomos de carbono, preferentemente en donde 1R se selecciona del grupo que comprende un grupo alquilo, un grupo fluoroalquilo y un grupo arilo, y preferentemente en donde 2R se selecciona del grupo que comprende un grupo epoxi, un grupo trifluoropropilo, un grupo cloropropilo, un grupo aminopropilo, un grupo feniletilo, un grupo acrililoxipropilo, un grupo metacrililoxipropilo y un grupo glicidiloxipropilo, y/o en donde ${}^1R'$ y ${}^2R'$ son radicales alquilo que contienen de 1 a 4 átomos de carbono.
- 20 3. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 o 2, en donde la etapa de recubrir el conductor eléctrico con el material precursor comprende la etapa de:
- 25 proporcionar una mezcla que comprende el primer y segundo organo-alcóxidos, un catalizador ácido y un disolvente, hidrolizar el primer organo-alcóxido para formar una especie de organosilato hidrolizado y, posteriormente, poner en contacto el conductor eléctrico con la mezcla.
- 30 4. Un método como se reivindica en la reivindicación 3, en donde la etapa de recubrimiento es seguida por la etapa de calentar el material precursor para curar el material a través de la condensación de especies de organosilano hidrolizado para formar un polímero inorgánico y formar un polímero orgánico por la reacción de los grupos 2R .
- 35 5. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en donde el material de relleno inorgánico comprende al menos uno seleccionado entre sílice, alúmina, titanía y zirconia, preferentemente un material que tiene una estructura en capas, el material es opcionalmente seleccionado entre vermiculita, mica y caolinita.
- 40 6. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, en donde dicha al menos una capa de material precursor comprende una pluralidad de capas de componentes, y preferentemente en donde dicha al menos una capa de material precursor comprende una primera capa de componentes que es una capa interior y una segunda capa de componentes encima de la capa interior.
- 45 7. Un método como se reivindica en la reivindicación 6, en donde la capa de material precursor comprende una primera y una segunda capa de componentes, cada una de las cuales comprende proporciones diferentes respectivas del material de relleno inorgánico en por ciento en peso, y opcionalmente en donde la primera capa de componentes no comprende material de relleno inorgánico y la segunda capa componentes comprende material de relleno inorgánico.
- 50 8. Un método como se reivindica en la reivindicación 6 o 7, en donde la primera capa comprende grupos 1R y sustancialmente no contiene grupos 2R , o en donde la primera capa comprende grupos 1R y grupos 2R , y/o en donde la segunda capa comprende grupos 1R y grupos 2R .
- 55 9. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en donde se proporcionan una o más capas adicionales además de la primera capa y la segunda capa.
- 60 10. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en donde el material precursor comprende una tercera capa de componentes, la segunda capa de componentes está dispuesta entre la tercera capa de componentes y la primera capa de componentes, y preferentemente en donde una proporción relativa de grupos 1R , grupos 2R en la primera, segunda y tercera capa de componentes están dispuestos para variar como una función de la distancia promedio de la capa de componentes respectiva del conductor eléctrico.
- 65 11. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de someter la estructura a un proceso de secado mediante el cual se elimina una cantidad de disolvente de la capa.

- 5
12. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación anterior que comprende la etapa de someter la estructura a un proceso de curado por el cual la estructura se calienta a una temperatura en el intervalo de alrededor de 150 °C a alrededor de 350 °C, opcionalmente de alrededor de 200 °C a alrededor de 350 °C, además opcionalmente de alrededor de 220 °C a alrededor de 320 °C.
- 10
13. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de cocción de la estructura a una temperatura de alrededor de 350 °C a alrededor de 800 °C.
- 15
14. Una estructura precursora para un conductor eléctrico que tiene un recubrimiento aislante que comprende:
un conductor eléctrico;
al menos una capa de un material aislante flexible sobre el conductor eléctrico, el material precursor comprende: un primer organo-alcóxido ${}^1R_xSi(O{}^1R')_{4-x}$ y un segundo organo-alcóxido ${}^2R_xSi(O{}^2R')_{4-x}$, y un material de relleno inorgánico, donde 1R es un resto orgánico no hidrolizable térmicamente estable a una temperatura de al menos 150 °C, 2R es un resto orgánico no hidrolizable que contiene un grupo funcional que puede reaccionar con otro grupo funcional similar para formar un polímero orgánico, ${}^1R'$ y ${}^2R'$ son radicales alquilo y x es 1 o 2.
- 20
15. Estructura como se reivindica en la reivindicación 14, en donde 1R y 2R son radicales orgánicos que contienen de 1 a 18 átomos de carbono, preferentemente en donde 1R es uno seleccionado del grupo que comprende un grupo alquilo, un grupo fluoroalquilo y un grupo arilo, y preferentemente en donde 2R se selecciona del grupo que comprende un grupo epoxi, un grupo trifluoropropilo, un grupo cloropropilo, un grupo aminopropilo, un grupo feniletilo, un grupo acrililoioxipropilo, un grupo metacrililoioxipropilo y un grupo glicidiloioxipropilo, y/o en donde ${}^1R'$ y ${}^2R'$ son radicales alquilo que contienen de 1 a 4 átomos de carbono.
- 25
16. Un conductor eléctrico que tiene un recubrimiento aislante que se obtiene cuando se somete una estructura precursora de la reivindicación 14 o 15 a curado térmico.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

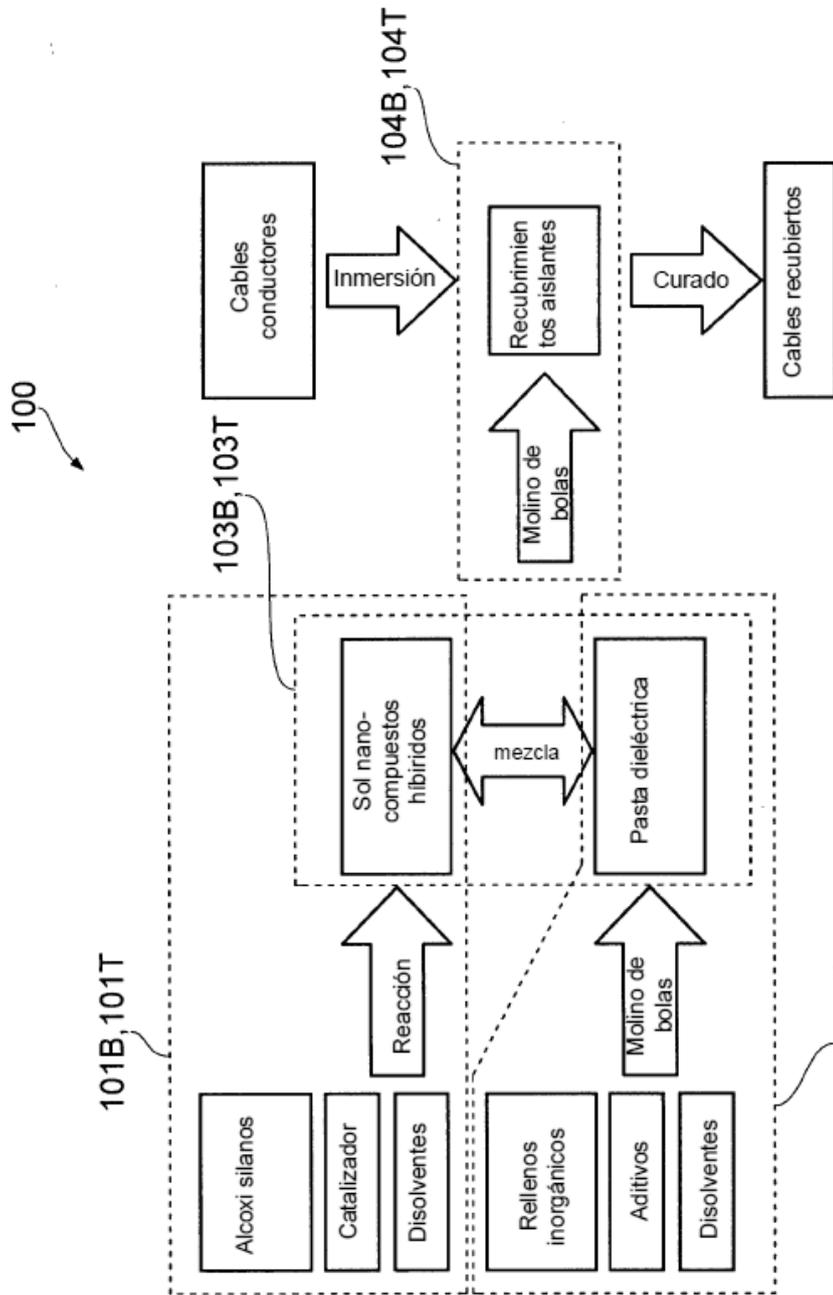
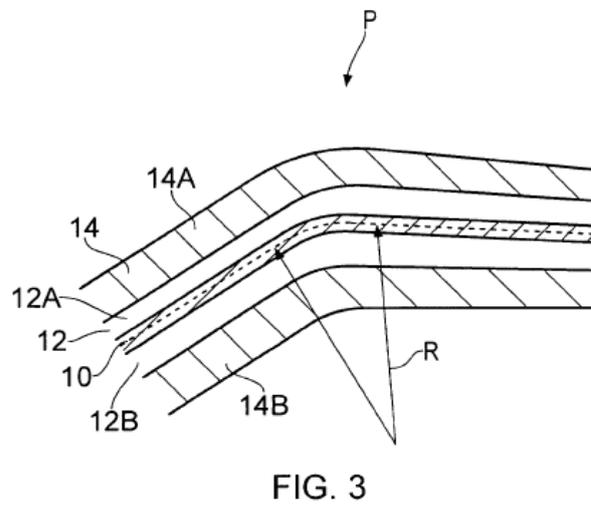
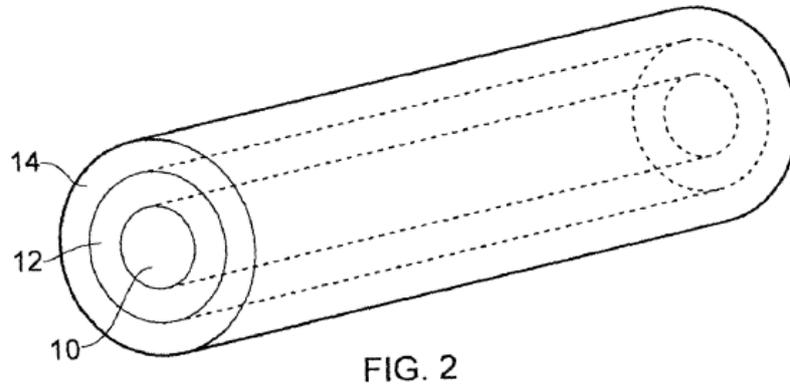


FIG. 1



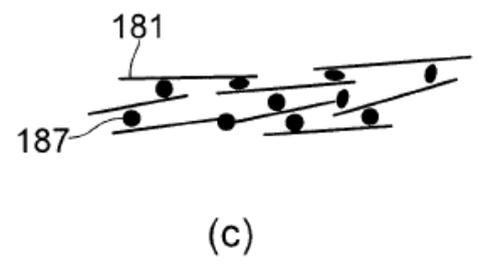
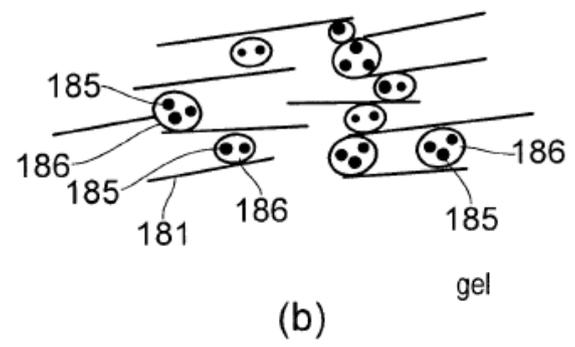
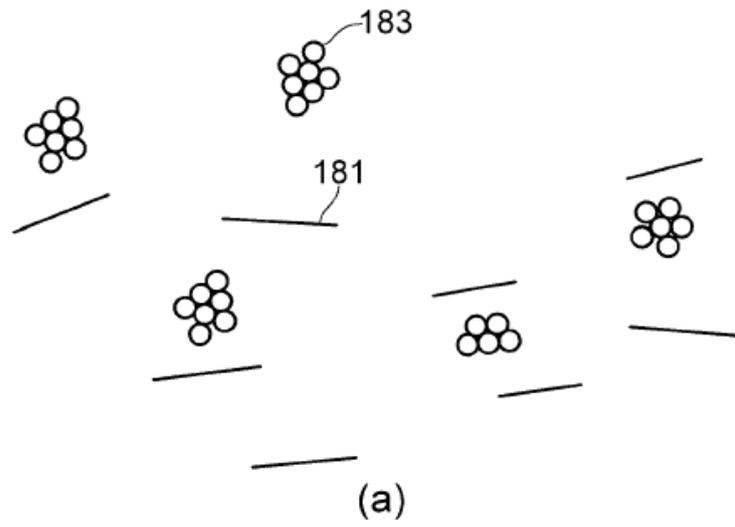
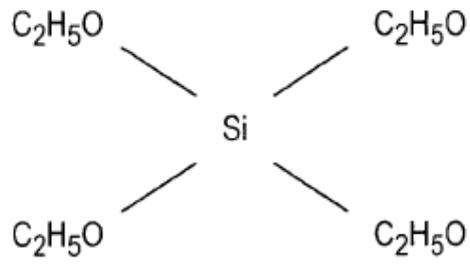
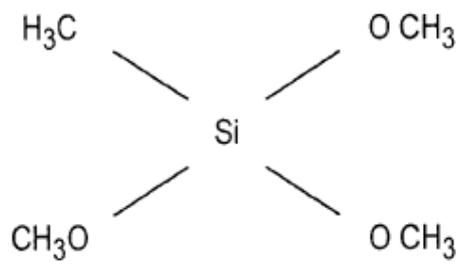


FIG. 4



(a)



(b)

FIG. 5